




# Anwendung von Nanopartikeln

 Analyse Teilbereich Chemikaliensicherheit, Technischer Arbeitsschutz



Baden-Württemberg

**HERAUSGEBER** LUBW Landesanstalt für Umwelt, Messungen und Naturschutz Baden-Württemberg  
Postfach 10 01 63, 76231 Karlsruhe  
[www.lubw.baden-wuerttemberg.de](http://www.lubw.baden-wuerttemberg.de)

**BEARBEITUNG** Dr. Kai-Achim Höpker  
Ulrich Wurster, Lebensmittelchemiker  
Dipl. Ing. Gabriele Kunigkeit  
Dipl. Ing. (FH) Gerhard Ott

**REDAKTION** LUBW Landesanstalt für Umwelt, Messungen und Naturschutz Baden-Württemberg  
  
Referat 34 - Chemikaliensicherheit, Technischer Arbeitsschutz

**BEZUG** Internet unter <http://www.lubw.baden-wuerttemberg.de/servlet/is/29564/>

**STAND** Juli 2007

Nachdruck - auch auszugsweise - ist nur mit Zustimmung des Herausgebers unter Quellenangabe und Überlassung von Belegexemplaren gestattet.

<b>1</b>	<b>ZUSAMENFASSUNG</b>	<b>5</b>
<b>2</b>	<b>EINLEITUNG</b>	<b>6</b>
<b>3</b>	<b>GRUNDLAGEN ZUR NANOTECHNOLOGIE</b>	<b>7</b>
3.1	Was verstehen wir unter „Nanotechnologie“	7
3.2	Begriffe und Definitionen	7
3.3	Gesetzliche Regelungen	9
<b>4</b>	<b>NANOTECHNOLOGISCHE ENTWICKLUNGEN</b>	<b>11</b>
4.1	Einsatzbereiche von Nanomaterialien	11
4.2	Zukünftige Anwendungsbereiche	11
4.3	„Nano-Kompetenz“ in Baden-Württemberg	13
4.4	„Nano-Kompetenz“ in Deutschland	15
<b>5</b>	<b>AUSWIRKUNGEN VON NANOPARTIKELN AUF DEN ARBEITS-, UMWELT- UND GESUNDHEITSSCHUTZ</b>	<b>17</b>
5.1	Arbeitsschutz	17
5.2	Umweltschutz	18
5.3	Gesundheits- und Verbraucherschutz	19
<b>6</b>	<b>MESSUNGEN DER LUBW</b>	<b>22</b>
6.1	Messtechnik	22
6.2	Ergebnisse	22
<b>7</b>	<b>SCHLUSSFOLGERUNGEN</b>	<b>24</b>
<b>8</b>	<b>QUELLENANGABEN</b>	<b>27</b>
<b>ANHANG: LINKS RUND UM DAS THEMA NANOTECHNOLOGIE UND ULTRAFEINSTAUB</b>		<b>29</b>



# 1 Zusammenfassung

Im Rahmen des Arbeitsplans 2006 hat die LUBW Landesanstalt für Umwelt, Messungen und Naturschutz Baden-Württemberg den vorliegenden Sachstandsbericht zur „Anwendung von Nanopartikeln“ erstellt. Umfangreiche Literatur-Recherchen und eigene Messerfahrungen des Referates „Chemikaliensicherheit, Technischer Arbeitsschutz“ bilden den Schwerpunkt der Zusammenstellung und führen zu folgenden Ergebnissen:

Von gezielt hergestellten Nanomaterialien für technische Produkte werden zukünftig vielfältige Nutzungsmöglichkeiten und enorme Wachstumsraten erwartet. Vielfältige Produktverbesserungen und neuartige Einsatzbereiche bei Verwendung von weniger Materialressourcen werden prognostiziert.

Die vorliegenden Informationen zu möglichen Wirkungen durch neuartige Nanopartikel für Lebewesen oder für die belebte Umwelt sind nur unzureichend – die Datenbasis für eine verlässliche Risikoabschätzung reicht derzeit nicht aus. Um die Auswirkungen von Nanopartikeln abschätzen zu können, sind Untersuchungen des gesamten Lebenszyklus der neuen Materialien notwendig, die sich sowohl mit den Transportwegen in der Umwelt, den Expositionspfaden der lebenden Organismen, den toxischen Effekten sowie der Bioverfügbarkeit und der Bioakkumulation beschäftigen. Neuartige Nanomaterialien wie Carbon-Nanotubes und Fullerene, die bislang in der Umwelt nicht anzutreffen waren, bedürfen hierbei einer besonderen Aufmerksamkeit. Weiterer Aufklärungsbedarf über die toxikologische Wirkungsweise von Nanopartikeln besteht bezüglich der stofflichen Partikel-Zusammensetzung, der Partikelform und der Partikeloberfläche (Coating). Durch Life-Cycle-Betrachtungen könnten die volks- und betriebs-

wirtschaftlichen sowie sozioökologischen Vorteile gegenüber konventionellen Techniken herausgearbeitet und kommuniziert werden.

Für Ultrafeinstäube (inkl. Nanopartikel) gibt es derzeit keine speziellen gesetzlichen Regelungen. Richt- oder Grenzwerte zur Teilchenkonzentration bzw. Teilchengrößenverteilung kommen erst in Betracht, wenn hierzu toxikologisch aussagefähige Schlussfolgerungen begründet werden können und standardisierte, reproduzierbare Messverfahren festgelegt sind. Aus Vorsorgegründen werden bei Tätigkeiten mit synthetisch hergestellten Nanopartikeln technische, organisatorische und persönliche Schutzmaßnahmen (geschlossenen Systeme, Abgrenzung der Arbeitsbereiche, Staubschutzausrüstung) vorgeschlagen. Informationen zu Einsatzbereichen und Vorkommen von synthetischen Nanopartikeln und Ultrafeinstäuben in der Luft am Arbeitsplatz, in Aufenthaltsräumen bzw. in der Umgebungsluft liegen kaum vor. Anzumerken ist, dass die Erfassung von Nanopartikeln über ihre Masse an messtechnische Grenzen stößt. Als Mess- und Beurteilungsgrundlage für die Exposition mit Nanopartikeln sollte grundsätzlich die Teilchenkonzentration bzw. Teilchengrößenverteilung anstatt allein die Massenbestimmung herangezogen werden.

Die LUBW hat entsprechende Untersuchungen durchgeführt. Weitere Messungen der Partikelanzahl und der Partikelverteilung bei Tätigkeiten mit synthetisch hergestellten Nanopartikeln sollten folgen. Die Entwicklung eines standardisierten Messverfahrens wird als notwendig angesehen.

Im Bereich der Risikoabschätzung bei der Anwendung von synthetischen Nanopartikeln im Arbeits-, Umwelt- und Gesundheitsschutz sind grundsätzliche Defizite erkennbar.

## 2 Einleitung

„The role of the infinitely small in nature is infinitely large“. *Louis Pasteur*

Dieses Zitat aus der Biologie kann auf die Nanowissenschaften und Nanotechnologien und die mit ihnen verbundenen großen Hoffnungen und Erwartungen übertragen werden.

Wissenschaft und Wirtschaft sehen in diesen Feldern gleichermaßen ein enormes Potenzial für Entwicklungen in vielfältigen Anwendungsbereichen, wie für wirtschaftliche Prosperität.

Nanowissenschaften und Nanotechnologie werden als technologische Schlüsselfelder des 21. Jahrhunderts eingeschätzt. Konsequenterweise wurden Forschungsaktivitäten und Investitionen verstärkt. Seit 1998 wurden die Forschungsmittel des Bundesministeriums für Bildung und Forschung (BMBF) mit rund 290 Millionen Euro mehr als vervierfacht. Im Bereich der Forschungsaktivitäten nimmt Deutschland mit Rang 3 bei den Publikationen und Rang 2 bei den Patenten weltweit eine Spitzenstellung ein [1].

Gleichzeitig wird zunehmend erkannt, dass diese Techniken auch neue Herausforderungen in den Bereichen Ethik und Sicherheit mit sich bringen können, die einer Abklärung und eines gesellschaftlichen Diskurses bedürfen.

Technikfolgenabschätzungen rechnen damit, dass sich, ähnlich zu der Gentechnologie, bestehende Konfliktpotenziale verstärken und neue entwickeln werden [2].

74 Prozent der Deutschen fühlen sich über Nanotechnologie schlecht informiert - viel mehr als bei der Gentechnik oder Kernenergie. Bei der Risikowahrnehmung sind viele unentschieden: Nur jeder Zehnte hält Nanotechnik für riskant, ein Drittel betrachtet sie weder als Risiko noch als Chance [3].

Der 17. Ausschuss des Deutschen Bundestages kommt 2004 in seiner Technikfolgenabschätzung zu dem Schluss, dass angesichts der Unsicherheiten vielfacher Klärungs- und Handlungsbedarf besteht. Ethische und gesellschaftliche Aspekte der Nanotechnologie wurden bisher kaum in der Öffentlichkeit thematisiert. Der Kenntnisstand über die mögliche Gesundheits- und Umweltrelevanz wird als unbefriedigend eingestuft [2]. Die britische Royal Society und die Royal Academy of Engineering kommen zum Schluss, dass aufgrund des bisherigen unbefriedigenden Kenntnisstandes über die Umwelteigenschaften von Nanopartikeln

und Nanotubes eine Freisetzung vermieden werden sollte [4]. Andere sehen das größte Risiko bei der Nanotechnologie darin, ihre Chancen nicht zu nutzen [5].

Im März und April 2006 traten in Deutschland in 110 Fällen Vergiftungen durch das Produkt „Magic nano“ eines baden-württembergischen Unternehmens auf. Auch wenn dieses Produkt nach derzeitigem Kenntnisstand keine Substanzen der Nanotechnologie enthielt, hat dieser Fall die öffentliche Aufmerksamkeit auf mögliche negative Aspekte des Themenfelds Nanotechnologie gerichtet (Westdeutscher Rundfunk, WDR-Fernsehen 18.5.06).

Die Gefahr einer Emotionalisierung und Diskreditierung der Nanotechnologie ist gegeben. Seit Ende 2005 nehmen kritische Stimmen zur Nanotechnologie zu [6]. In dieser frühen Phase der Nanotechnikentwicklung kann jedoch rechtzeitiges Handeln dazu beitragen, mögliche zukünftige Akzeptanzprobleme in einem rationalen Diskurs zu thematisieren [2].

Vor diesem Hintergrund legt die LUBW, gemäß ihrem Auftrag im Jahresprogramm 2006, dem Umweltministerium (UM) einen Sachstand zu der Anwendung von Nanopartikeln vor. Entsprechend der Aufgabenstellung ist der Sachstand auf die Themenfelder Chemikaliensicherheit und Arbeitsschutz fokussiert. Er wurde durch das Referat „Chemikaliensicherheit, Technischer Arbeitsschutz“ erarbeitet.

Der Sachstand soll dem Ministerium

- grundsätzliche Informationen und aktuelle Entwicklungen der Nanowissenschaften und -technologien vermitteln,
- die landeseigene Kompetenzen darstellen und über die Bearbeitung des Themenfeldes im bundesweiten Umfeld informieren,
- offene Fragestellungen mit wissenschaftlicher, (umwelt-)politischer und gesetzlicher Relevanz aufzeigen und
- prioritäre Forschungs- und Vorsorgestrategien für das Land formulieren.

Damit richtet sich der Bericht in erster Linie an das Referat „Betrieblicher Arbeitsschutz, Chemikalien, Gentechnik“, „Ökologie, Forschung, Klimaschutz“ und „Anlagenbezogener Gewässerschutz, Umwelttechnik“ des Umweltministeriums.

# 3 Grundlagen zur Nanotechnologie

## 3.1 WAS VERSTEHEN WIR UNTER „NANOTECHNOLOGIE“

Nanotechnologie steht für Fortschritt und Innovation - sie gilt als eine Schlüsseltechnologie des 21. Jahrhunderts. Mit der Nanotechnologie wird die „Welt kleiner Teilchen“ erschlossen (griechisch nano = Zwerg). Mit geringem Materialaufwand werden ultrafeine Partikel (Nanopartikel), einzelne Nanostrukturen oder Erzeugnisse mit ultradünnen Beschichtungen produziert.

Die Bildung derartiger Nanostrukturen kann durch Lithografie (Belichtung mit Photolack), chemische Synthese in Lösung oder im Plasma sowie durch Wachstum auf Oberflächen (Selborganisation) und durch Nukleation von Molekülen aus der Gasphase (Aerosolprozess) erfolgen. Je nach Einsatzgebiet der Nanoteilchen ist meist eine genau definierte und enge Partikelgrößenverteilung erforderlich. Abhängig von der chemischen Natur der gewünschten Nanoteilchen werden bestimmte Herstellungsverfahren angewendet. Meist liefern Verfahren in Lösung oder Verfahren der Selbstorganisation die besten Ergebnisse, sind aber großtechnisch nur schwer oder gar nicht durchführbar [7].

Unter dem Begriff der Nanotechnologie werden häufig auch kleine Strukturen im Millimeterbereich verstanden, die in der Mikrosystemtechnik angewendet werden. Diese Strukturen liegen jedoch weit über dem Größenbereich von Nanopartikeln und werden nachfolgend nicht weiter betrachtet.

Die wichtigsten in großtechnischem Maßstab im Einsatz befindlichen Nanopartikel [8] sind:

- Carbon Black
- Metalloxide wie Siliziumdioxid, Titandioxid, Aluminiumoxid, Zinkoxid und Eisenoxid
- Halbleiter wie Cadmium-Tellurit und Gallium-Arsenid
- Metalle wie Gold und Silber

Carbon Black, auch Industrieruß genannt, wird z.B. in Reifen als verstärkender Füllstoff genutzt. Nanoskaliges Titandioxid wird in Sonnenschutzcremes eingesetzt, um die UV-Durchlässigkeit zu verringern. Titandioxid und Zinkoxid werden u.a. in Kosmetika verwendet.

Als neue Substanzklassen werden im Labormaßstab (Kilogramm-Bereich) derzeit sog. Kohlenstoff-Nanoröhrchen und Fullerene hergestellt. Diese kommen in der Umwelt bisher

nicht vor und sind aufgrund ihrer Struktur relativ stabil.

Kohlenstoff-Nanoröhren (Carbon-Nanotubes, CNT) sind Röhren mit einem Durchmesser von einem bis zu 50 Nanometern. Sie zeichnen sich durch eine besonders hohe Zugfestigkeit aus und sind je nach Struktur leitend oder halbleitend. Einige Strukturen haben bei tiefen Temperaturen auch die Eigenschaften eines Supraleiters. Wegen ihrer Eigenschaft als Halbleiter werden Nanotubes unter anderem für die Transistorherstellung bei Computerchips verwendet. Außerdem werden sie in der Display-Herstellung eingesetzt. Es ist nicht auszuschließen, dass sich CNT bei Verarbeitung größerer Mengen in unserer Umwelt anreichern. In Deutschland besteht allerdings derzeit keine industrielle Produktionskapazität für diese neuartige Substanzklasse – diese werden derzeit lediglich im Forschungslaboratorien hergestellt.

Fullerene sind ausschließlich aus Kohlenstoffatomen bestehende kugelförmige Makromoleküle („Bucky Balls“) - hauptsächlich in der C60-Form, für die insbesondere medizinische Anwendungen erwartet werden.

Als „Quantenpunkte“ werden 5 nm hohe und 100 nm große, pyramidenförmige Gebilde bezeichnet, welche aus einigen tausend Atomen bestehen. Unter geeigneten Rahmenbedingungen ordnen sich diese Quantenpunkte selbstständig an. Sie stellen u.a. die Grundlage für neue Lasersysteme dar.

## 3.2 BEGRIFFE UND DEFINITIONEN

Im Zusammenhang mit der Nanotechnologie und der Herstellung, Verarbeitung und Freisetzung von Nanopartikeln herrscht eine Begriffsvielfalt im Hinblick auf die Bezeichnung einzelner Partikel und die Definition von Staubfraktionen.

Nanopartikel bilden einen Teil des luftgetragenen Staubes. Mit einer Größe von maximal 0,1 µm (100 nm) bilden sie nur das untere Ende der bis 100 µm reichenden Skala der luftgetragenen Partikel. Neben dem Ultrafeinstaub gibt es in Arbeits- und Umweltschutz eine Anzahl weiterer Staubfraktionen, die teilweise das gleiche Partikelkollektiv umfassen (siehe Abb. 1).

Alle festen und/oder flüssigen Partikel, die in der Umgebungsluft suspendiert sind, werden als „Schwebstaub“ bzw. „Gesamtstaub“ oder „Einatembare Staub“ (E-Staub) bezeichnet. - die englische Bezeichnung hierfür lautet „Parti-

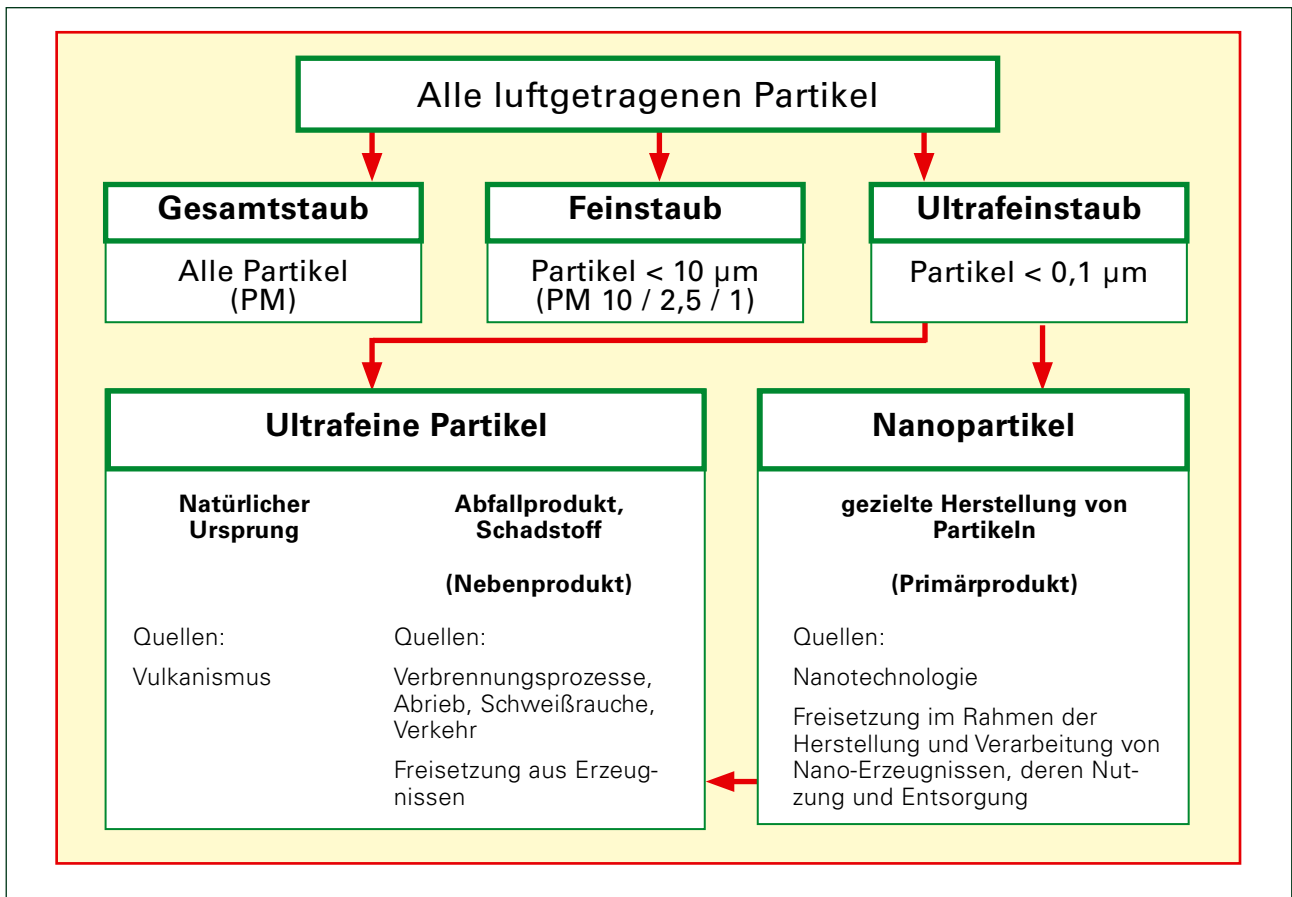


Abb. 1 Übersichts-Einteilung von Staubpartikeln

culate Matter“ (PM). Für die biologischen Eigenschaften des Staubes ist neben der chemischen Zusammensetzung insbesondere der aerodynamische Partikeldurchmesser verantwortlich. Grobstäube wie Pollen sind  $>10\ \mu\text{m}$  und werden zum größten Teil in den oberen Atemwegen abgefangen.

In der Staubfraktion PM 10 finden sich alle Partikel, die einen gröÙenselektiven Lufteinlass passieren, der für einen aerodynamischen Durchmesser von  $10\ \mu\text{m}$  einen Abscheidegrad von 50 % aufweist. Dieser thorakale Schwebstaub lagert sich überwiegend in der Luftröhre und den großen Bronchien ab. Dazu gehören u.a. auch Stäube, die z.B. durch Bremsen-, Reifen- und Straßenabrieb entstehen.

Der eigentliche Feinstaub misst weniger als  $2,5\ \mu\text{m}$  (PM 2,5) und wird auch als „Alveolengängiger Schwebstaub“ (A-Staub) bezeichnet. Dieser A-Staub entsteht beispielsweise bei Verbrennungsprozessen und gelangt bis in die kleinen Atemwege und Alveolen. Neben PM 10 und 2,5 ist im Umweltschutz auch die Fraktion PM 1 von Bedeutung.

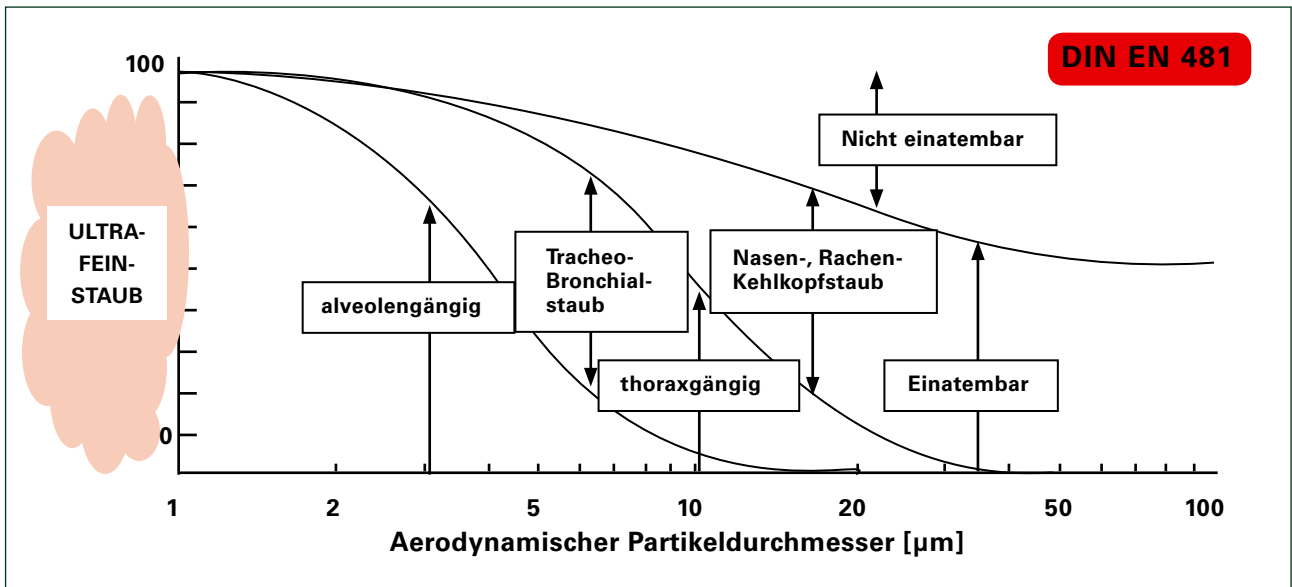
Im Arbeitsschutz gibt es darüber hinaus weitere Staubfraktionen (nach DIN EN 481) [9]. Diese sind in Abb. 2 dargestellt. Die Partikelgrößenverteilung von Staubpartikeln aus unterschiedlichen Quellen ist in Abb.3 [10] dargestellt:

Ultrafeinstaub umfasst alle Teilchen, deren aerodynamischer Durchmesser weniger als  $100\ \text{nm}$ , also  $0,1\ \mu\text{m}$ , beträgt. In dieser Größenordnung liegen zum Beispiel Reifenabrieb und Viren.

Für die einzelnen Staubpartikel dieser Fraktion werden die Begriffe Nanopartikel (nanoskalige Partikel) und Ultrafeine Partikel derzeit teilweise synonym verwendet. Als Nanopartikel im engeren Sinne sollten nach unserer Auffassung zukünftig nur Partikel  $< 100\ \text{nm}$  bezeichnet werden, die nanotechnologisch gezielt synthetisch hergestellt wurden. In diesem Sinne wird der Begriff im nachfolgenden Text auch verwendet.

Partikel natürlichen Ursprungs sowie als Nebenprodukt/Schadstoff oder Abfall freigesetzte Partikel sollten als Ultrafeine Partikel bezeichnet werden (s. Abb. 1). Sie entstehen beispielsweise bei Verbrennungsvorgängen als primäre Kohlenstoffpartikel und sind ca.  $100\ \text{nm}$  groß. Diese Primärpartikel wachsen zu größeren Agglomeraten (Akkumulationspartikeln) an und entsprechen dann dem o.g. „Feinstaub“. Ultrafeine Partikel kommen in sehr großer Anzahl im Umweltstaub vor und entsprechen ca. 70% der Gesamtzahl der Umweltpartikel. Aufgrund des geringen Durchmessers besitzen sie eine extrem kleine Masse, so dass sie nur ca. 1%





**Ultrafeinstaub:**

Partikel mit einem Durchmesser < 100 nm, deren Ablagerungsverhalten im Atemtrakt nicht durch Sedimentation sondern durch Diffusion bestimmt wird.

Abb. 2 Aerodynamische Partikeldurchmesser verschiedener Staubfraktionen [9]

zur Gesamtmasse des Umweltaubes beitragen [12].

Die LUBW schlägt daher vor, den Begriff Nanopartikel künftig ausschließlich für synthetische Partikel zu verwenden, die gezielt hergestellt wurden. Wird von Partikeln < 100 nm im Allgemeinen gesprochen, so sollten die Begriffe Ultrafeine Partikel oder Ultrafeinstaub benutzt werden.

**3.3 GESETZLICHE REGELUNGEN**

Gesetzliche Regelungen, die sich speziell auf die Nanopartikel bzw. Ultrafeinstäube beziehen, gibt es in Deutschland bisher nicht und sind auch aus anderen Ländern nicht bekannt. Alle Regelungen beziehen sich auf Feinstäube, wovon die Ultrafeinstäube eine Teilmenge bilden.

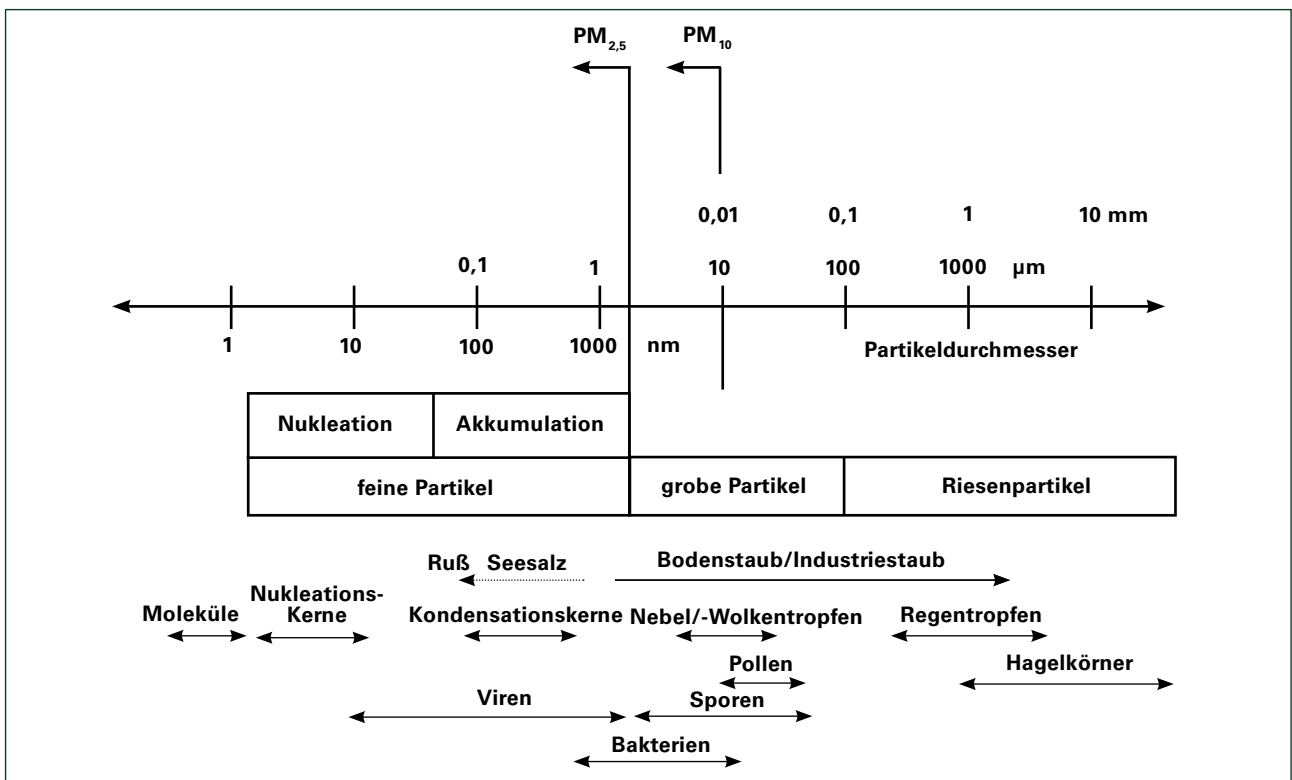


Abb. 3 Größenbereiche und Bezeichnungen für Schwebstaub in der Atmosphäre nach [11]

Nachfolgend ein Überblick über den gegenwärtigen Stand der Regelung zu staubförmigen Partikeln auf verschiedenen Gebieten:

#### **AUFNAHME IN DAS CAS- BZW. EINECS-VERZEICHNIS:**

Da Nanopartikel in der Regel dieselbe CAS-Nummer tragen wie größere Partikel aus demselben Material wurde bisher im stoffspezifischen gesetzlichen Regelwerk keine eigene Bewertung der Nanofraktion vorgenommen. Eine gesetzliche Verpflichtung zur Durchführung von Studien besteht bisher nicht.

Eine Ausnahme von dieser Regelung bilden die Fullerene, die kein EINECS-Stoff sind. Sie haben eine eigene CAS-Nummer und unterliegen bei Überschreitung einer vorgegebenen Mengenschwelle umfangreichen Prüfungen.

#### **EINSTUFUNG/KENNZEICHNUNG/REACH:**

Derzeit ist eine Kennzeichnung von Produkten im Hinblick auf ihren Gehalt an Nanopartikeln nicht vorgeschrieben. Ob und in welchem Maße Nanopartikel nach Einführung von REACH einer Bewertung/Prüfung unterzogen werden müssen, ist bisher noch offen.

#### **ARBEITSSCHUTZ:**

Für einatembare und alveolengängige Stäube gilt der Allgemeine Staubgrenzwert nach TRGS 900 (Grenzwerte für die Luft am Arbeitsplatz Luftgrenzwerte) [13]:

A-Staub (alveolengängig):	3 mg/ m <sup>3</sup>
E-Staub (einatembare):	10 mg/ m <sup>3</sup>

Für Staubbelastungen an Arbeitsplätzen mit reizenden, giftigen oder krebserzeugenden Eigenschaften bzw. Schweißrauche gilt ein E-Staub-Grenzwert von max. 50 µg/m<sup>3</sup>.

Nach TRGS 900, Abschnitt 2.4 gilt der Allgemeine Staubgrenzwert ausdrücklich nicht für die ultrafeine Partikelfraktion. Begründung: Ultrafeine Stäube liegen ubiquitär an staubexponierten Arbeitsplätzen vor. Ab welcher Konzentration eine besondere Berücksichtigung der ultrafeinen Stäube erfolgen muss, ist derzeit nicht bekannt.

#### **ARBEITS-/INNENRÄUME:**

Auch in diesem Bereich gibt es keine speziellen Regelungen für Ultrafeinstäube.

Ausgehend von der Arbeitsstättenrichtlinie (ASR 5), die in Auslegung einer entsprechenden Forderung der Arbeitsstättenverordnung „ausreichend gesundheitlich zuträgliche

Atemluft in Arbeitsräumen dann als vorhanden betrachtet, wenn die Luftqualität in Arbeitsräumen ohne besondere Staubbelastung im Wesentlichen der Außenluftqualität entspricht“, kann abgeleitet werden, dass die Staubkonzentration nicht höher als der EG-Staubgrenzwert für die Luft in der Troposphäre (50 µg/m<sup>3</sup> = 0,05 mg/m<sup>3</sup>; Bezug PM 10-Messung) sein sollte.

#### **IMMISSIONSSCHUTZ:**

Grenzwerte für PM 10 - Feinstaub [xiv] nach EU-Richtlinie 1999/30/EG (EU-Feinstaubrichtlinie):

Stufe 1 - gültig ab 01. 01. 2005

24-Stunden-Grenzwert: 50 µg/m<sup>3</sup> PM 10 (darf max. 35-mal im Jahr überschritten werden)

Jahresgrenzwert: 40 µg/m<sup>3</sup> PM 10

Stufe 2 – voraussichtlich gültig ab 01. 01. 2010 \*

24-Stunden-Grenzwert: 50 µg/m<sup>3</sup> PM 10 (darf max. 7-mal im Jahr überschritten werden)

Jahresgrenzwert: 20 µg/m<sup>3</sup> PM 10

\*: Die EU-Richtlinie 1999/30/EG vom 22. April 1999 über Grenzwerte für Schwefeldioxid, Stickstoffdioxid und Stickoxide, Partikel und Blei gibt in einer 2. Stufe für das Jahr 2010 niedrigere Werte für PM 10 an, jedoch mit dem ausdrücklichen Vorbehalt, dass diese im Lichte weiterer Erkenntnisse und Erfahrungen zu überprüfen sind. Derzeit ist diese 2. Stufe sowohl auf der fachlichen wie auch der politischen Ebene in der Diskussion.

#### **LEBENSMITTEL, BEDARFSGEGENSTÄNDE UND KOSMETISCHE MITTEL:**

Es bestehen bisher keine speziellen Regelungen für Nanopartikel. In den Reinheitskriterien für zugelassene Lebensmittelzusatzstoffe wie z.B. Titandioxid (E 171) ist keine Angabe zur Partikelgröße zu finden.

#### **BIOZIDE:**

Um eine biozide Wirkung zu erzielen, können Produkten und Erzeugnissen Nanopartikel (z.B. aus Silber) zugesetzt werden. Es besteht eine Meldepflicht für Biozide, die Partikelgröße wird dabei aber nicht erfasst.

# 4 Nanotechnologische Entwicklungen

## 4.1 EINSATZBEREICHE VON NANOMATERIALIEN

Die Nanotechnologie hat durch ihr enormes Anwendungspotenzial nahezu alle wichtigen Lebens- und Umweltbereiche erobert. In Produkten wie Farben und Lacken oder Medikamenten kommen Nanopartikel in Form von Titan- und Zinkoxid bereits seit mehr als 30 Jahren zum Einsatz. Titandioxid ist das am meisten eingesetzte Weißpigment mit einer globalen Jahresproduktion von ca. 3,6 Mio Tonnen. Etwa 35 % davon werden in Westeuropa hergestellt. Der Markt für Titandioxid in Deutschland ist mit einem Jahresumsatz von über einer halben Milliarde Euro der bedeutendste Einzelmarkt in Europa.

Weltweit werden etwa 1 Million Tonnen Zinkoxid pro Jahr hergestellt, von denen etwa 40% in der Kautschuk- und Gummiindustrie Verwendung finden. Weitere Anwendungsgebiete sind keramische Glasuren, optische Gläser, Anstrichmittel, Kunststoffe und Kopierpapier. Es dient als Korrosionsschutzmittel und wird Schmiermitteln, Klebstoffen und Batterien zugesetzt. Zur Herstellung des heute bedeutendsten Korrosionsschutzmittels Zinkphosphat ist Zinkoxid ein wichtiger Rohstoff. Hochreine Sorten von Zinkoxid werden in der kosmetischen und pharmazeutischen Industrie eingesetzt. Zink ist ein lebenswichtiges Element, weswegen Zinkoxid auch Tierfutter und Düngemitteln zugesetzt wird [15]. Die Höhe des nanoskaligen Anteils der weltweiten Titandioxid- bzw. Zinkoxidproduktion ist jedoch nicht bekannt.

In wesentlich kleinerem Maßstab werden bislang Carbon-Nanotubes (CNT) und Carbon Black (Industrieruß) eingesetzt. Hierzu gibt es noch keine Mengenangaben.

Es eröffnen sich neue zukunftsweisende Anwendungen. Automobilindustrie, Maschinen- und Anlagenbau, Energietechnik, Optik und Medizin sind Branchen, in denen mit Hochdruck an neuen Produkten gearbeitet wird [8].

Tabelle 1 vermittelt einen Überblick, in welchen Produkten des täglichen Lebens bereits nanoskalige Partikel verwendet werden.

Für die Umwelttechnologie ist ein Ausbau der deutschen Vorreiterposition gut vorstellbar [8]. In folgenden Einsatzbereichen werden Chancen für die Nanotechnologie in der Umwelttechnik gesehen:

- Autoabgaskatalysatoren (nanoskalige Edelmetalle wie Pt, Pd, Rh auf Trägermaterial, da-durch 90 % weniger Ausstoß an Kohlenwasserstoffen, CO und NO<sub>x</sub>)
- Katalysatoren in der Industrie (80% aller chemischen Erzeugnisse durchlaufen mindestens eine katalytische Stufe; Katalysatoren sparen Energie und mindern Nebenprodukte)
- Membranen und Filter zur Wasseraufbereitung
- Entfernung von Umweltgiften und Pharmaabfällen durch nanoskalige Partikel
- Wasserstoffspeicher für Brennstoffzellen (hohe Speicherdichte, keine Abgase)
- Entspiegelung von Solarzellen (höhere Energieausbeute)
- Membranen für große Lithium-Ionen-Batterien (Bleiersatz, Gewichtsreduzierung)
- Lacke mit Nanomaterialien auf Metallen (Verzicht auf Chrom VI und andere Schwermetalle)
- Metallschmelzen mit Nanomaterialien (Verbesserung der Zugfestigkeit und gute Verformbarkeit bei Legierungen und Stählen)

Durch die Nanotechnologie entstehen neue Arbeitsplätze. Schon heute sind durch nanotechnologische Entwicklungen in Deutschland ca. 25.000 Personen beschäftigt. Für den Standort Deutschland ist die Nanotechnologie von herausragender Bedeutung. Analysten rechnen mit 10.000 neuen Arbeitsplätzen im Bereich der Nanotechnologie bis Ende 2007 in Deutschland [16]. Zurzeit setzen etwa 450 Unternehmen in Deutschland Nanotechnologie ein, 80 % davon rechnen laut einer Befragung mit einem wachsenden Bedarf an Mitarbeitern. Gerade in der Chemischen Industrie sind hier Innovationen in einer Branche möglich, deren Standardproduktion ansonsten von einer Verlagerung in Billiglohnländer bedroht ist.

## 4.2 ZUKÜNFTIGE ANWENDUNGSBEREICHE

Die Erforschung, Herstellung und Anwendung von Nanostrukturen vereint zahlreiche Fachgebiete aus Wissenschaft und Technik. Von der Nanotechnologie werden daher innovative Entwicklungen vor allem in technologischen Bereichen, in der Medizin und Pharmazie sowie in der Nahrungsmittelproduktion erwartet.

Tabelle 1: Einsatzbereiche von Nanomaterialien (Zusammenstellung aus verschiedenen Literaturquellen)

Anwendungsbeispiele zum Einsatz von Nanopartikeln in Produkten			
Bereich	Nanoskalige Partikel	Produkte	Zweck
<b>Kosmetik</b>	Titandioxid (TiO <sub>2</sub> ), Zinkoxid (ZnO)	Sonnenschutzpräparate Hautcreme	UV-Schutz
	Aluminiumoxid (Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> )	Haarpflegemittel	Stabilisator
	Calciumphosphat (Ca <sub>3</sub> (PO <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> )	Zahncreme	biomimetischer Wirkstoff (synthetischer Wirkstoff nach biolog. Vorbild)
<b>Nahrungsmittel</b>	Siliciumdioxid (SiO <sub>2</sub> ) z.T. gecoatet	Raffinierte Speisesalze	Verbesserung Rieselfähigkeit
		Hart- und Schmelzkäse	Verbesserung der Sämigkeit
		Ketchup	Verringerung der Haftfähigkeit
	Carotinoide (z.B. Lycopene von BASF)	Limonaden	Orangefärbung und längere Frischhaltung
	Titandioxid	Zuckerguss, Bonbons, Kaugummi	Farbstoff
<b>Lebensmittel-</b>	Schichtsilikate, TiO <sub>2</sub>	Frischhaltefolien	Feuchtigkeitsverlust, Sauerstoffeintritts- minderung, UV-Schutz
	innere SiO <sub>2</sub> Beschichtung	PET-Flaschen	Diffusionssperre
<b>Papier</b>	TiO <sub>2</sub>	Dekor- und Zigarettenpapier	Erhöhung der Opazität
<b>Farben</b>	TiO <sub>2</sub>	Holzfarben und Lacke, Autolacke	UV- und Korrosions- schutz, Kratzfestigkeit
<b>Putzmittel</b>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> , SiO <sub>2</sub> , TiO <sub>2</sub>	Glas- und Keramikreiniger	Oberflächen- versiegelung
<b>Sanitärkeramik</b>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> , SiO <sub>2</sub>	Waschbecken, Badewannen, WCs, Duschen, Fliesen	Oberflächenveredelung (Abriebfestigkeit, Hitzeresistenz)
<b>Pharmabereich und Medizin</b>	gecoatetes hochdispersi- ves SiO <sub>2</sub>	Arzneimittel in Tabletten, Kapseln, Salben und Wund- sprays, Krebsmedikamente	Wirkstofftransporter oder -depot
	Silber, Polymer- und metallische Partikel	Implantate, Prothesen	antibakterielle Wirkung, Oberflächenglättung, Kontrastmittel
<b>Landwirtschaft</b>	Pestizide in Nanokapseln	Bayer Crop Science, Syngenta	Pflanzenschutz und Schädlingsbekämpfung
<b>Automobil</b>	„carbon black“ (Industrieruß)	Autoreifen	Haftungsverbesserung, Verschleiß
	Kupfer	Schmiermittel	Verschleißreduzierung
	chem. Verbindungen mit hohem Fluor-Anteil Platin, Palladium	Lack- und Scheibenreiniger „easy to clean“ Katalysatoren	schmutz- und wasser- abweisende Oberflächen Emissionsminderung
<b>Textilien</b>	Silber	Kleidung, Schuhsohlen	antimikrobielle Wirkung
	Silikonschichten, Anatas- Fasern (TiO <sub>2</sub> )	All-Wetter-Stoffe (Outdoor- Kleidung)	Textilveredelung
<b>Informations- und Kommunikations- technik</b>	Silicium, Siliciumcarbid	elektronische Bauelemente (z.B. Chips Wafer)	mehr Leistung, weniger Ressourcenverbrauch
<b>Sport</b>	glasfaserverstärkte Kunststoffe	trendige Sportgeräte	geringer Verschleiß
	Nanotubes (CNT)	Tennis- und Golfschläger	größere Stabilität

Langfristig marktträchtige Produktperspektiven und Anwendungsoptionen sind beispielsweise [17], [18] :

- Bau von Kleinstgeräten für Informations- und Kommunikationstechnik durch weitere Miniaturisierung von Halbleiter- und Optoelektronik
- Herstellung von wasser- und schmutzabweisenden Materialien durch Oberflächenfunktionalisierung und -veredelung
- Herstellung nanoporöser Filter gegen Partikelemissionen für Autoabgasanlagen
- Herstellung katalytischer Kraftstoff-Nanopartikelzusätze zur Minimierung von Verbrennungsschadstoffen
- Herstellung neuartiger preiswerter Solarzellen, die sich das Prinzip der natürlichen Photosynthese zunutze machen
- Herstellung effizienter Wasserstoffspeicher für die regenerative Energiewirtschaft

- Entwicklung perfekt selektierender Sensoren für Umweltgifte und zur Lebensmittelüberwachung
- Bessere Gesundheitsvorsorge durch Früherkennung von Krankheiten mit Hilfe von Diagnostika auf Basis von Nanomaterialien
- Herstellung von Nanosensoren zur Überwachung chronisch Kranker
- Entwicklung neuer Therapieverfahren für gezielte und nebenwirkungsfreie Behandlung
- Entwicklung neuer Medikamente zur Heilung bisher unheilbarer Krankheiten wie z.B. Alzheimer oder Krebs
- Hautersatzmaterialien und Folien für inneren Wundverschluss
- Herstellung künstlicher Muskeln
- Herstellung von verbesserten Implantaten (längere Haltbarkeit, bessere Verwachsung mit Körpergewebe)  
Wie die Beispiele zeigen, werden für viele Branchen neben Verbesserungen von bestehenden Verfahren und Produkten auch Produktneuheiten erwartet. Darüber hinaus werden Entlastungseffekte beim Schutz der Umwelt erhofft, wie:
- Einsparung von Ressourcen z.B. durch Herstellung nanoskaliger Beschichtungs- und Katalysatormaterialien
- Verbesserung der Effizienz bei der Energieumwandlung durch Optimierung von Solar- und Brennstoffzellen
- Verringerung des Energieverbrauchs
- Senkung des Abfallaufkommens
- Wiederverwertung von Nanomassenprodukten wie z.B. Einwegchips

Eine im Jahr 2002 vom Umweltministerium Baden-Württemberg in Auftrag gegebene Studie [19] kommt darüber hinaus zu folgenden Erkenntnissen:

- Die Nanotechnologie befindet sich zu einem Großteil noch in der Grundlagenforschung, einige wenige Funktionalitäten der Nanotechnologie verbessern die Eigenschaften bestehender Produkte. Es werden hohe Wachstumsraten und großes Marktvolumen erwartet.
- Für die Mikro- und Nanotechnologie bieten sich einige potenzielle Anwendungsfelder in der Umwelttechnik, hauptsächlich im Bereich der Katalyse, der Sensorik, der Oberflächen, der Trenn- und Aufbereitungsverfahren sowie der Energiesysteme. Nanotechnologie ist in der Umwelttechnik jedoch noch weitgehend unbekannt.

- Die Entwicklung der Nanotechnologie ist stark von den erforschten Möglichkeiten und entdeckten Funktionalitäten getrieben, während die Forschung in der Umwelttechnik problemgetrieben ist. Beide Herangehensweisen müssen marktorientiert zusammengeführt werden.
- Wesentliches Hemmnis eines verstärkten Einsatzes der Nanotechnologie in der Umwelttechnik ist zunächst der fehlende Informationsaustausch über die jeweiligen Forschungsfragen. Darüber hinaus sind die Rahmenbedingungen wie Infrastruktur, qualifizierte Arbeitskräfte und Finanzkapital ausschlaggebend.

#### 4.3 „NANO-KOMPETENZ“ IN BADEN-WÜRTTEMBERG

Der nachfolgende Überblick zeigt, dass Baden-Württemberg derzeit im Bereich der Forschung und Entwicklung von Nanotechnologien gut positioniert ist.

Das Fraunhofer-Institut für Produktionstechnik und Automatisierung (IPA, Stuttgart) hat gemeinsam mit internationalen Experten auf dem Gebiet der Nanomaterialien sog. „Roadmaps“ über die zukünftige Entwicklung und den Einsatz von Nanomaterialien erstellt. Im Fokus stehen dabei die Branchen Automobil, Luft- und Raumfahrt, Medizintechnik und Gesundheit sowie Energie. Diese Studien sollen insbesondere mittelständischen Unternehmen helfen, ihre Produkte innovativ mittels Nanomaterialien zu optimieren. Dazu geben die „Roadmaps“ einen Überblick über relevante Nanomaterialien, die detailliert beschrieben werden. Anwendungsbereiche, Produkte dieser Bereiche und Nanomaterialien, die in diesen Produkten zur Anwendung kommen bzw. ein hohes Verbesserungspotential aufweisen, sind dort dargestellt. Weiterhin sind Ansprechpartner genannt, Vor- und Nachteile der Nanomaterialien aufgeführt sowie deren zeitliche Entwicklung prognostiziert. So kann einerseits die voraussichtliche Entwicklung der Nanomaterialien vom Labor-Prototyp bis zur Marktverfügbarkeit entnommen werden - andererseits werden die kurz-, mittel- und langfristig erwarteten Anwendungen für diese Nanomaterialien aufgezeigt [20].

Der Projektträger Forschungszentrum Karlsruhe (PTKA) organisiert ein überregionales Netzwerk für die Anwendung von Materialien der Nanotechnologie (NanoMat). Mit diesem Netzwerk koordinieren drei Forschungszentren der Helmholtz-Gemeinschaft, zehn Universitäten mit natur- und ingenieurwissenschaftlichen Fachgebieten, ein Max-Planck-Institut, ein Institut der Wissenschaftsgemeinschaft Gottfried Wilhelm Leibniz, ein Institut der Pol-

nischen Akademie der Wissenschaften, drei Institute der Fraunhofer-Gesellschaft, die DECHEMA und vier große Unternehmen (BASF, Bosch, Degussa, Merck) ihre Forschungsprojekte zum Thema „Synthese und Untersuchung von metallischen und keramischen nanostrukturierten Materialien und Werkstoffen und Funktionen, die sich aus der Nanoskaligkeit ergeben“. Innerhalb des Netzwerks NanoMat werden die Kompetenzen der Kooperationspartner gebündelt und zusammengefasst, so dass Projekte interdisziplinär und durchgängig von der Vorlaufforschung bis zum Transfer in wirtschaftlich verwertbare Ergebnisse durchgeführt werden können. Die in diesem Netzwerk zusammengeschlossenen Partner verfügen über eine hohe wissenschaftliche und technologische Leistungsfähigkeit. Darüber hinaus sind die NanoMat-Partner bisher an insgesamt über 200 Patenten, 10 Lizenzen sowie mehr als 60 laufenden Kooperationsverträgen mit der Industrie im Bereich der Nanotechnologie beteiligt [21].

Des Weiteren agiert das **Forschungszentrum Karlsruhe** im Auftrag des Bundesministeriums für Bildung und Forschung (BMBF) als federführender Projektträger beim BMBF-Förderprogramm „Forschung für die Produktion von morgen“. Hierbei erfolgt eine enge Zusammenarbeit mit Unternehmen der gewerblichen Wirtschaft sowie Einrichtungen der öffentlichen Hand mit dem Ziel, die innerhalb des BMBF-Förderprogrammes entwickelten Methoden, Verfahren, Technologien und Organisationsformen zur Verbesserung der Produktion bekannt zu machen und ihre schnelle und breite Anwendung und Nutzung in der Praxis zu unterstützen. Man erhofft sich dadurch eine schnellere Marktfähigkeit von innovativen Forschungsergebnissen – insbesondere bei der Anwendung von Nanomaterialien.

Das im Jahr 2006 neu etablierte Projekt „NanoCare“, in dem vornehmlich die Risiken von Nanomaterialien im Fokus stehen, wird ebenfalls vom Forschungszentrum Karlsruhe (Prof. Dr. Krug) federführend betreut. Das Projekt soll Forschungsarbeiten, welche insbesondere die toxikologischen Wirkungen von Nanopartikel auf biologische Systeme näher beleuchten, koordinieren und bündeln. „NanoCare“ soll neue wissenschaftliche Erkenntnisse über Umwelt und Gesundheitsauswirkungen von Nanopartikeln zugänglich machen und diese einer breiten Öffentlichkeit vermitteln. Die Projekt-Partner aus Industrie und Wissenschaft wollen dazu neuartige Nanopartikel herstellen und in Modellsystemen auf ihre toxikologische Wirkung untersuchen. NanoCare basiert auf einem dreistufigen Konzept [22]

- **Wissenserzeugung:** Gewinnung von (Primär-)Daten zur arbeitsplatzbezogenen gesundheitlichen Wirkung von Nanopartikeln durch Partikelanalyse und mit biologischen Testsystemen und Charakterisierung des Deagglomerationsverhaltens.
- **Wissensmanagement:** Erfassung und strukturierte Sammlung charakteristischer Parameter zum Aufbau einer Wissensbasis. Die gewonnenen Daten werden in einem zweiten Schritt zielgruppenorientiert (Presse, Wissenschaft, Öffentlichkeit) aufbereitet und in Form einer Datenbank zur Verfügung gestellt.
- **Wissenstransfer:** Die Datenbank wird mit einer nutzerfreundlichen Oberfläche versehen und der allgemeinen Öffentlichkeit zur Verfügung gestellt.

Folgende Arbeitspakete (AP) sind vorgesehen:

- AP 0 **Identifikation der Partikeltypen**
- AP 1 **Partikelherstellung** (Gezielte Modifikation der zu untersuchenden Partikel nach Größe, Oberflächenladung und ihrer Oberflächenchemie. Zusätzliche Parameter sind die Oberflächenbeladung [Coating] und die Hydrophobierung)
- AP 2 **Partikelstandardisierung und -charakterisierung** (Synthesemethode, Ausgangsstoffe und Modifizierungen werden so eingestellt, dass alle Partner mit dem gleichen Material arbeiten. Somit ist die Vergleichbarkeit der Ergebnisse gewährleistet. Dazu müssen auch die Anlagen und Methoden standardisiert werden. Wichtig: Agglomerations- bzw. Aggregationsverhalten und die Stabilität der Agglomerate bzw. Aggregate)
- AP 3a **In vitro Modelle - Zellsysteme** (Auswahl geeigneter Zellen/Zelltypen für die Untersuchungen z.B. Lungenzellen, Epithelzellen, Ko-Kulturen)
- AP 3b **In vitro Modelle - biologische Endpunkte** (Auswahl geeigneter Biomarker [Wirkungsendpunkte] für ein Effektmonitoring in den Zellsystemen)
- AP 4 **In vivo - Validierung im Tiermodell** (Überprüfung der erhaltenen Ergebnisse in wenigen Tierversuchen - Extrapolation in vitro - in vivo)
- AP 5 **Realität - Expositionserfassung am Arbeitsplatz** (Anzahl, Agglomerationsverhalten und Ausbreitung von Nanopartikeln am Arbeitsplatz; Anpassung und Neuentwicklung von Messmethoden)
- AP 6 **Datenaufbereitung, -interpretation - Wissensbasis** (Analyse der eigenen Daten sowie relevanter Ergeb-

nisse aus der Literatur; Pflege einer Wissensbasis zur projektinternen Nutzung mit Erarbeitung von interpretierten Datensätzen für den öffentlichen Bereich)

- AP 7 **Wissenstransfer - Kommunikation und Dialog** (Interner Dialog und Wissenstransfer zur Strukturierung der Forschungsergebnisse; Dialogveranstaltungen und Expertentreffen sowie Webportal; Publikationen im Internet aber auch als Zeitschriftenbeiträge)
- AP 8 **Projektkoordination und -management** (Koordinierung der Projekte und der Veranstaltungen)

Das BMBF stellt hierfür in den nächsten 3 Jahren rund 5 Mio. € zur Verfügung, die Industrie beteiligt sich mit 2,6 Mio €. Engagiert sind 13 Partner - auf Seite der Industrie sind es die Degussa AG, BASF AG, Bayer MaterialScience AG, Solvay Infra Bad Honnigen GmbH und die SusTech GmbH&Co.KG. Von wissenschaftlicher Seite beteiligen sich die Universitäten Münster, Bielefeld und Saarbrücken sowie das Forschungszentrum Karlsruhe. Weitere Partner sind die IUTA e.V., die ItN Nanovation GmbH, das Institut für Entwicklung und Anwendung von Verfahren zur biologischen Emissionsbewertung und das Institut für Gefahrstoff-Forschung der Bergbau-Berufsgenossenschaft an der Ruhr-Universität Bochum [23].

#### 4.4 „NANO-KOMPETENZ“ IN DEUTSCHLAND

Auf Bundesebene hat das Bundesministerium für Umwelt (BMU) im Jahr 2005 einen „Dialog Nanopartikel“ initiiert, an welchem auch die LUBW / Ref. 34 teilnimmt. Im Rahmen dieses „Nanopartikel-Dialoges“ sollen verstärkt sog. Stakeholder-Treffen stattfinden, um die gesellschaftspolitische Diskussion bei der Anwendung von Nanoteilchen von Beginn an transparent und glaubwürdig zu gestalten. Die Bundesregierung beabsichtigt hierbei, eine Steuerungsgruppe einzurichten, an der neben mehreren Ministerien die Wirtschaft, Wissenschaft und gesellschaftliche Gruppen mitwirken sollen. Es ist eine verstärkte Kommunikation mit der Öffentlichkeit sowie eine etwa jährliche Bilanzierung des Wissensstands in einer Konferenz vorgezogen [8].

Die Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin (BAuA) hat, in Zusammenarbeit mit UBA und BfR, zum Thema Nanotechnologie eine eigene Forschungsstrategie vorgelegt [24]. Deren Ziel ist die Erarbeitung von Emp-

fehlungen zur Einstufung und Kennzeichnung, zum Umgang und zur Messung von Nanopartikeln auf einer validen Grundlage. Die Forschung soll dabei auf unlösliche und schwerlösliche Partikel in den Bereichen Chemikaliensicherheit, Arbeitsschutz sowie Umwelt- und Verbraucherschutz begrenzt bleiben.

Als Ziele werden im Einzelnen genannt:

- Strukturierung und Koordinierung der Forschung
- Entwicklung von Messverfahren (personengetragen)
- Information zur Exposition (Bildung von Expositionskategorien)
- Informationen zu toxikologischen und ökotoxikologischen Wirkungen
- Bündelung und Auswertung von Daten für regulatorische Fragestellungen (Grenzwerte, Einstufung)
- Projekte zur Risikokommunikation

Insgesamt werden 25 Einzelprojekte/Arbeitsfelder vorgeschlagen, 8 zur Exposition, 16 zum Bereich Toxikologie/Ökotoxikologie und eines zur Risikokommunikation.

Einzelne Projekte werden bereits bearbeitet. So führte die BAuA u.a. in Zusammenarbeit mit dem Verband der chemischen Industrie (VCI) eine Unternehmensbefragung bei Chemiebetrieben durch, um Informationen zur Arbeitsplatzexposition und zum Risikomanagement zu erhalten. Ziel ist es, die Exposition gegenüber Nanopartikeln in den einzelnen Betrieben zu erfassen, Expositionskategorien zu bilden und Prioritäten bei der Ermittlung des weiteren Forschungsbedarfs im Hinblick auf gesundheitliche Wirkungen festzulegen. Ein Projekt zur Entwicklung, Erprobung und Standardisierung der Messtechnik von Nanopartikeln am Arbeitsplatz (insbesondere personengetragene Messung und Charakterisierung der Stäube) wurde ebenfalls bereits begonnen. Bis zum Herbst 2006 soll außerdem ein Gutachten des UBA vorliegen, dessen Ziel es ist, den derzeitigen Rechtsrahmen zu analysieren und Vorschläge für mögliche Regulierungsmaßnahmen zu erarbeiten.

Von diesen Einzelprojekten sollten insbesondere die Möglichkeiten zur Einführung eines (freiwilligen) Meldeverfahrens für Herstellung, Verarbeitung und Verwendung von Nanopartikeln aus Sicht der LUBW weiter geprüft werden. Damit könnte auch ein Beitrag zu Arbeitsplatzexposition und Risikomanagement im Betrieb und zur Ermittlung der Verbraucherexposition geleistet werden. Im Umweltbereich sind insbesondere Fragen zur Lebenszyklusanalyse und zum

Verhalten und Verbleib (Akkumulation, Persistenz) der Partikel als mögliche Betätigungsfelder anzusehen.

Die BAuA beabsichtigt darüber hinaus, das Informationsangebot zu Nanopartikeln im Internet wesentlich zu erweitern, u.a. durch die Aktualisierung relevanter Links zu Nanopartikeln (s. Anhang).

Die Bundesregierung hat im Bereich der Nanotechnologien verschiedene Fördermaßnahmen initiiert. Hierdurch sollen die Voraussetzungen für die erfolgreiche Weiterentwicklung der Nanotechnologie und die breite gesellschaftliche Nutzung ihrer Potenziale verbessert werden. Das Anwendungspotenzial und der ökonomische und gesellschaftliche Nutzen dienen hierbei als Beurteilungskriterium für die öffentliche Förderung. Das derzeit wichtigste Programm stellt der „Förderschwerpunkt Nanobiotechnologie“ des BMBF dar. Gefördert werden insbesondere innovative Verbundsysteme der anwendungsorientierten Forschung, die

ein arbeitsteiliges und multidisziplinäres Zusammenwirken von Unternehmen, Hochschulen und Forschungseinrichtungen erfordern, um wissenschaftliche Ergebnisse in Anwendungen umzusetzen. Mit rund 290 Millionen Euro an öffentlichen Fördermitteln steht Deutschland dabei in Europa an der Spitze. Seit 1998 wurden allein die im Rahmen der Projektförderung des BMBF bereitgestellten Fördermittel für Nanotechnologie vervierfacht. Als unterstützende Infrastruktur wurden parallel dazu Kompetenzzentren aufgebaut.

Auf europäischer Ebene wurde im 6. EU-Rahmenprogramm der Programmschwerpunkt „Nanotechnologie und Nanowissenschaften, wissensbasierte multifunktionelle Werkstoffe, neue Produktionsverfahren und -anlagen“ in den Jahren 2002 bis 2006 mit insgesamt 1,3 Mrd. € finanziert. Auch hier stellt der Themenbereich „Nanobiotechnologie“ den Förderschwerpunkt dar [2].



# 5 Auswirkungen von Nanopartikeln auf den Arbeits-, Umwelt- und Gesundheitsschutz

## 5.1 ARBEITSSCHUTZ

Der Kontakt mit synthetischen Nanopartikeln und eine mögliche Aufnahme durch die Atemluft bzw. über die Haut erfolgt in erster Linie bei deren Herstellung bzw. bei der nachfolgenden Verwendung im Arbeitsprozess. Deshalb sind primär Arbeitnehmer bei Tätigkeiten mit synthetischen Nanopartikeln exponiert. Der Schutz der Arbeitnehmer steht jedoch vor der Schwierigkeit, dass zwischen der Entwicklungsgeschwindigkeit der Anwendung von neuartigen synthetischen Nanopartikeln und ihren möglichen Risiken eine deutliche Lücke besteht. Vermutungen über mögliche negative Folgen der Inhalation von synthetischen Nanopartikeln basieren bisher im Wesentlichen auf Analogieschlüssen zu Ergebnissen vorliegender Untersuchungen über die Wirkung ultrafeiner Partikel. So liegen derzeit keine bzw. unzureichende Kenntnisse vor über:

- Die toxikologische Relevanz (Epidemiologie) von synthetischen Nanopartikeln bei der Aufnahme über die Atemluft oder über die Haut bzw. Schleimhaut
- Die Wirkmechanismen von Nanopartikeln in Abhängigkeit von Größe und Anzahl, stoffliche Zusammensetzung, Form und Oberfläche (Coating)
- Eine geeignete Teststrategie bzw. Screeningverfahren zur Beurteilung gesundheitlicher Auswirkungen. Welche Messparameter sind geeignet und wie können sie erhoben werden?
- Die Freisetzung von Nanopartikeln bei der Herstellung, Verwendung und Beseitigung von Erzeugnissen, deren Eigenschaften mit Nanopartikeln verbessert wurden

Vor diesem Hintergrund ist derzeit eine Gefährdungsbeurteilung bzw. Risikoabschätzung schwierig, weil die zukünftigen Auswirkungen auf die Arbeit und Arbeitsbedingungen noch nicht klar zu erkennen sind. Das Arbeitsschutzgesetz von 1996 stärkt zwar den Präventions- und Vorsorgegedanken - die praktische Umsetzung durch die Formulierung von Schutzziele ist bei Einführung neuer Technologien jedoch problematisch, da angemessene Präventionsmaßnahmen in der Anfangsphase nicht überprüfbar sind. Nur mit einem systematischen Vorgehen sind

Fehlentwicklungen oder Gefährdungsmuster frühzeitig zu erkennen und vorbeugende Schutzmaßnahmen möglich. Gefährdungen durch Nanopartikel können bei folgenden Tätigkeiten nicht ausgeschlossen werden:

- Bei der Herstellung von Nanopartikel in der Gasphase oder als Pulver besteht die Gefahr der Inhalation bzw. des (Schleim)haut-Kontaktes
- Beim Umgang mit Nanopartikeln zur Verbesserung von Produkteigenschaften ist eine Exposition über die Luft bzw. durch (Schleim)haut-Kontakt möglich
- Auch bei der Entsorgung bzw. Verwertung von Nanoprodukten kann eine Exposition nicht ausgeschlossen werden
- Auch Arbeitsplätze, an denen ultrafeine Partikel durch ungewolltes Entstehen (Bsp.: Schweißrauche) freigesetzt werden, sind im Blickfeld zu behalten [25]

Die Expositionsauswirkungen durch neuartige Substanzklassen wie Kohlenstoff-Nanoröhrchen („Nanotubes“) und Fullerene („Bucky Balls“) bedürfen einer besonderen Aufmerksamkeit, da es sich um völlig neuartige Substanzen in der belebten Umwelt handelt. Für nicht toxische metallische Nanopartikel wird eine mögliche Gefahr für biologische Systeme und die Umwelt nicht als prioritär angesehen; der Mensch und andere Biosysteme hatten sich mit diesen Partikeln aus biogenen bzw. anthropogenen Quellen schon über lange Zeiträume auseinandersetzen [26].

Bei Tätigkeiten mit synthetisch hergestellten Nanopartikeln – insbesondere wenn neue Substanzklassen zur Anwendung kommen – werden im Rahmen eines vorsorgenden Arbeitsschutzes folgende Maßnahmen empfohlen:

- Als technische Schutzmaßnahme zur Minimierung der Exposition gegenüber Nanopartikeln am Arbeitsplatz sollten grundsätzlich geschlossene Systeme bzw. Einhausungen zur Anwendung kommen. Auch aus Sicherheitsgründen (Brand- und Explosionsschutz) sollten Nanopartikel grundsätzlich nicht in nennenswertem

Umfang in die Raumluft freigesetzt werden können. Eine Alternative dazu bietet der Einsatz nicht staubender Verfahren (in flüssiger Phase).

- Als organisatorische Schutzmaßnahme sollten Arbeitsbereiche deutlich abgegrenzt und gekennzeichnet werden. Es wird ein neues Warnzeichen ("Warnung synthetische Nanoteilchen") zur Diskussion gestellt [27]:



Abb. 4 Vorschlag "Warnung synthetische Nanoteilchen"

- Sofern in abgegrenzten Bereichen das Freiwerden synthetischer Nanopartikel nicht ausgeschlossen werden kann, sollte als persönliche Schutzmaßnahme im Bedarfs-, Wartungs- oder Störfall die Verwendung von handelsüblichen Staubschutzmasken (FFP1, FFP2, FFP3) vorgesehen werden. Nach Aussagen des Berufsgenossenschaftlichen Institutes für Arbeitsschutz (BGIA) wird durch handelsübliche Staubschutzmasken auch der überwiegende Anteil an Nanopartikeln (bis zu ca. 99 % für FFP3-Staubschutzmasken) zurückgehalten.

Die Entwicklung einer geeigneten Schutzkonzeption für Tätigkeiten mit synthetischen Nanopartikeln ist ein erster Schritt, um die sich möglicherweise abzeichnenden Gefahren zu begrenzen. Des Weiteren werden im Sinne eines präventiven Arbeitsschutzes weitere Entwicklungsmöglichkeiten gesehen:

- Gezielte Forschungsförderung beim Umgang mit synthetischen Nanopartikeln (Basis: Teilchenkonzentration und Teilchengrößenverteilung)
- Verstärkte Beobachtung des Berufskrankheiten-Geschehens bei Tätigkeiten mit synthetischen Nanopartikeln  
Regulative Maßnahmen und mögliche Grenzwertsetzungen für synthetische Nanopartikel am Arbeitsplatz kommen innerhalb der EU bzw. der Bundesrepublik Deutschland in Betracht, wenn weitere Erkenntnisse

zu Anwendung und Vorkommen von Nanopartikeln, Teilchenkonzentration und Teilchengrößenverteilung, toxikologisch relevante Teilchenfraktion, Epidemiologie und Wirkmechanismus (abhängig von stofflicher Zusammensetzung, Form, Oberfläche) vorliegen.

## 5.2 UMWELTSCHUTZ

Ultrafeine Strukturen haben unter dem Begriff Ultrafeinstäube Eingang in die Diskussion des Umweltschutzes gefunden.

Der Einfluss staubbelasteter Umgebungsluft auf die menschliche Gesundheit wird seit Jahrzehnten untersucht. Im Zusammenhang mit der Luftverschmutzung stellen speziell ultrafeine Stäube eine potenzielle Gesundheitsgefahr dar. So bereiten die krebserregenden Abgase aus Dieselmotoren große Probleme und tragen mit ihrem Ausstoß ultrafeiner Stäube aus amorphem Kohlenstoff vor allem in Städten zur Luftverschmutzung bei.

In deutschen Städten liegt die Anzahlkonzentration ultrafeiner Partikel im Mittel bei etwa 10 Milliarden Partikeln/m<sup>3</sup> Luft oder 10.000 Partikeln/cm<sup>3</sup>. Im Gegensatz zur Masenkonzentration ist für die Anzahlkonzentration in den letzten Jahren ein leichter Anstieg zu verzeichnen.

In Erfurt steht die einzige Messstation Deutschlands, an der seit mehr als 10 Jahren ultrafeine Partikel dokumentiert werden [28].

Im Rahmen einer epidemiologischen Studie wurden im Winter 96/97 Immissionsmessungen durchgeführt und die Partikelkonzentrationen in Helsinki, Alkmaar und Erfurt bestimmt. Die arithmetischen Mittelwerte lagen zwischen 16.200 und 18.300 Partikeln/cm<sup>3</sup> [29].

Ungefähr 10 m<sup>3</sup> dieser partikelträchtigen Luft werden vom Menschen täglich eingeatmet. Die Zusammensetzung der Partikel ist sehr komplex. Sie sind neben anorganischen Salzen und elementarem Kohlenstoff auch mit organischen Substanzen beladen. Mehrere tausend dieser organischen Verbindungen können zwar nachgewiesen werden, aber derzeit ist nur ein Bruchteil identifizierbar [2].

Es ist davon auszugehen, dass bisher der Anteil synthetischer Nanopartikel unter den Feinstaubpartikeln eine eher untergeordnete Rolle spielt, so dass zum jetzigen Zeitpunkt die Belastung durch Ultrafeinstaub nicht als Problem aus der Nanotechnologie zu sehen ist. Als Quellen kommen Carbon Black und Katalysatoremissionen in Betracht.

Neben der Diskussion um den Feinstaub bestehen im Um-

weltschutz bezüglich synthetisch hergestellter Nanopartikel jedoch noch folgende offene Fragen:

- Wie gelangen synthetische Nanopartikel in die Umwelt?
- Wie verhalten sich diese Nanopartikel in der Umwelt?
- Welche Umweltkompartimente sind betroffen?
- Sind damit gesundheitliche Risiken für Mensch und Umwelt (z.B. Akkumulation in bestimmten Organen, mögliche Akkumulation über die Nahrungskette) verbunden?
- Welche synthetischen Nanopartikel können als Transportmittel für andere schädliche Stoffe dienen – oder durch welche anderen Stoffe werden synthetische Nanopartikel verbreitet?
- Wie ist die Persistenz der Partikel in der Umwelt?

Um mögliche Schädigungen von Umweltkompartimenten zu vermeiden, sollten aus Vorsorgegründen synthetisch hergestellte Nanopartikel (insbesondere Nanotubes und Fullerene) nicht in nennenswertem Umfang in die Umwelt oder in Abfallströme gelangen, bevor die o.g. Fragen nicht abschließend geklärt sind. Das Innovationspotential und die Eigenschaftsverbesserung von Nanoprodukten sollte gleichzeitig dazu genutzt werden in einer „Life-Cycle-Betrach-

tung“ auch mögliche Auswirkungen von neuartigen Nanoprodukten für die belebte Umwelt ausfindig zu machen.

Das Thema Nanopartikel und Umweltschutz liegt außerhalb der eigentlichen Aufgabenstellung und wurde daher nur unter dem Aspekt der allgemeinen Chemikaliensicherheit betrachtet. Eine Vertiefung dieses Themenfeldes obliegt anderen Fachreferaten der LUBW.

### 5.3 GESUNDHEITS- UND VERBRAUCHERSCHUTZ

Nanopartikel und andere ultrafeine Partikel werden vom menschlichen Körper potenziell über die Atemluft, durch Verschlucken oder über die Haut aufgenommen (siehe Abb. 5).

Epidemiologische Untersuchungen zeigen, dass Krankheitsgrad und Sterblichkeitsziffer in der Bevölkerung mit zunehmender Luftverschmutzung ansteigen. Dieser Effekt wird trotz beschränkter Datenlage maßgeblich auf ultrafeine Partikel zurückgeführt [18].

Nachweislich führt die Gesamtheit der Feinstäube (inkl. Ultrafeinstäube) zu vermehrtem Husten, Infekten der oberen und unteren Atemwege wie Bronchitis oder Schnupfen, Asthmaanfällen, Erkrankungen des Herz-Kreislaufsystems und Lungenkrebs.

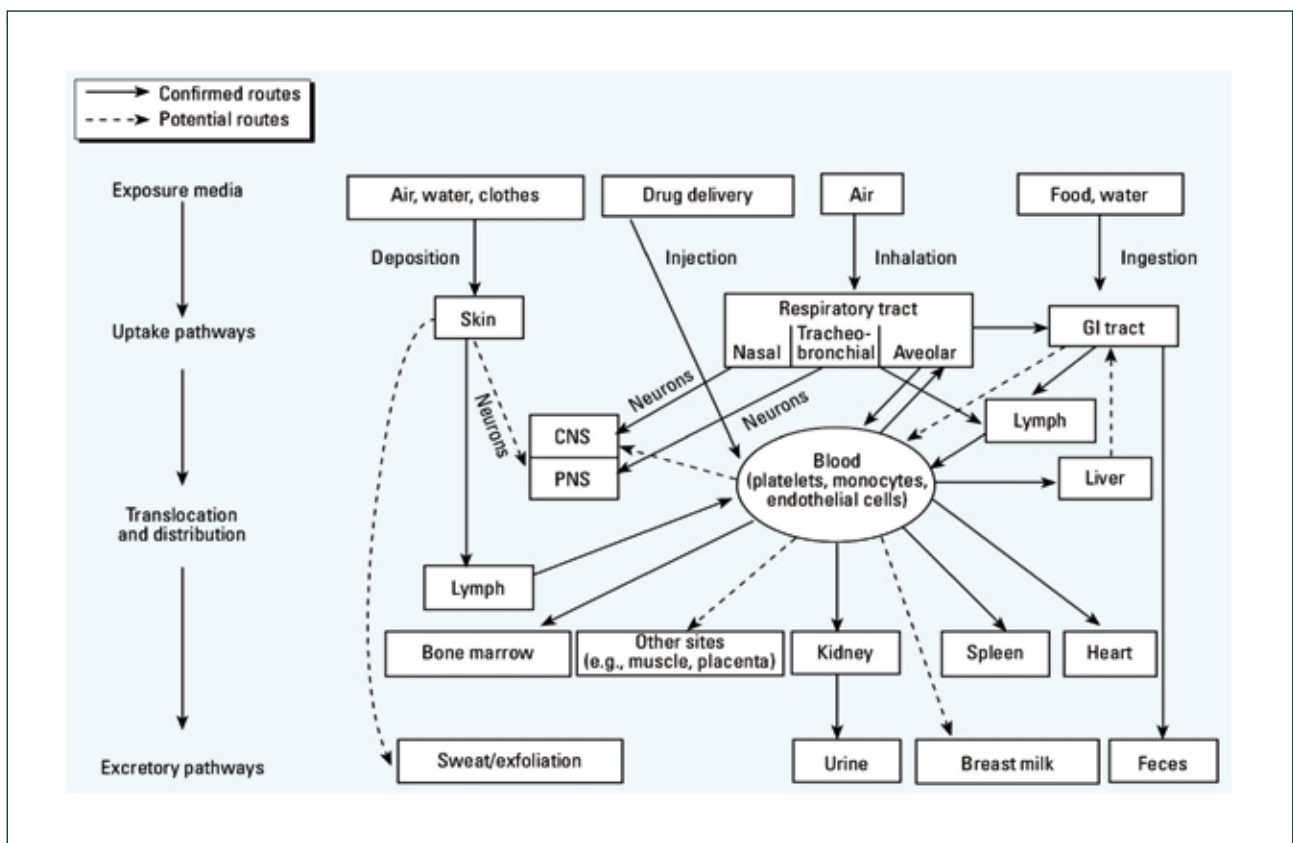


Abb. 5 Biokinetik von synthetischen Nanopartikeln

Eine im Jahr 1999 von der Schweiz, Österreich und Frankreich gemeinsam veröffentlichte Studie für die Weltgesundheitsorganisation (WHO) kommt zu dem Ergebnis, dass sogar in der überwiegend von den Alpen beherrschten Schweiz ca. 3300 Erwachsene pro Jahr vorzeitig als Folge der Luftverschmutzung durch Feinstaub (inkl. Ultrafeinstaub) sterben. Auch ca. 45 000 zusätzliche Fälle von Bronchitis und 23 000 Asthmaanfälle bei Kindern werden dort der Feinstaubbelastung (PM 10) zugerechnet [30]. Weitere epidemiologische Untersuchungen zeigen, dass erhöhte Morbidität und Mortalität in der Bevölkerung mit hohen Feinstaubkonzentrationen in der Außenluft korrelieren. Zu den besonders anfälligen Bevölkerungsgruppen zählen Kinder und ältere Menschen.

Über die toxikologische (Mit-)Wirkung von Nanopartikeln auf lebende biologische Systeme liegen nur wenig gesicherte Erkenntnisse vor. Erste Studien mit synthetisch hergestellten Nanotubes bzw. SiO<sub>2</sub>-Nanopartikeln kommen zu folgenden Ergebnissen:

- Verschiedene Versuche mit Mäusen und Ratten zeigten, dass Nanotubes in Gewebezellen der Lungenbläschen Entzündungsreaktionen hervorrufen können [31].
- In einer laufenden Studie untersucht die EMPA (Materials Science and Technology, St. Gallen, Schweiz) die toxische Wirkung der Nanotubes auf Bakterien. Bisherige Ergebnisse zeigen, dass sich die Zellaktivität nach einem Tag drastisch ändert. Dies ist allerdings von der geometrischen Form der Nanotubes abhängig [32].
- SiO<sub>2</sub>-Nanopartikel dringen in den Zellkern ein und können zu funktionellen Störungen führen, d.h. sie zerstören die Zellstruktur und verändern die Architektur des Zellkerns. Allerdings ist das von der Partikelgröße abhängig. So haben SiO<sub>2</sub>-Partikel größer einem Durchmesser von 200 nm weder Effekte auf die Struktur noch auf die Zellkernfunktion [33].

Die Partikelgröße der Feinstäube der Außenluft umfasst auch den Größenbereich der synthetischen Nanopartikel. Von der Partikelgröße kann aber nicht ohne weiteres auf die Toxizität geschlossen werden. Hier spielen zusätzlich Kriterien wie die chemische Zusammensetzung, die Partikelform sowie die Oberfläche eine Rolle. Ein Analogieschluss zwischen Feinstaub in der Umgebungsluft und Nanopartikeln kann nicht ohne weiteres erfolgen. Die Erkenntnisse über

Gesundheitsauswirkungen von Feinstäuben aus der Außenluft auf die Allgemeinbevölkerung lassen jedoch die Schlussfolgerung zu, dass eine genauere Analyse der Auswirkungen von synthetischen Nanopartikeln erforderlich ist.

Bei der Betrachtung der Gesundheitsrisiken wird bisher das Hauptaugenmerk auf die Inhalation der Partikel aus der Umgebungsluft gerichtet. Es liegen aber auch Hinweise auf orale und dermale Eintrittspfade vor. Die nachgewiesenen und vermuteten Pfade von Nanopartikeln in den Organismus sind in nachfolgender Abb. 5 dargestellt [34]: Während größere Staubeilchen bereits in der Nase zurückgehalten werden, dringen die mikroskopischen PM10-Schadstoffe bis in die feinsten Verästelungen der Lunge vor. Ultrafeine Partikel können sogar in die Lymph- und Blutbahn gelangen. Die zerklüftete Struktur von Umwelt-Feinstäuben bietet eine ideale Oberfläche für die Anlagerung von weiteren toxischen Substanzen.

Feinstäube können in den Atemwegen lokale Entzündungen hervorrufen und die Immunabwehr von Risikogruppen wie Kindern, Kranken und älteren Menschen einem Dauerstress aussetzen. Da ultrafeine Partikel in das Blut und mit ihm in andere Organe gelangen können, wird gegenwärtig spekuliert, dass hierdurch im kardiovaskulären System sowie im Gehirn partikel-assoziierte Reaktionen ausgelöst werden können [2]. Der Wirkmechanismus ultrafeiner Partikel auf biologische Systeme bedarf dringend weiterer Untersuchungen:

- Wie genau erfolgt der Übergang von der Lunge in die Blutbahn?
- Welche Reaktionen auf Partikel laufen im Gehirn ab?
- Wie beeinflussen sie Leber, Nieren oder die Blutgerinnung?

Eine umfassende und aktuelle Darstellung des Kenntnisstands zu gesundheitlichen Wirkungen nach inhalativer Exposition gegenüber synthetischen Nanopartikeln ist in [35] zusammengefasst.

Der Verbraucher kommt häufig über Kosmetika mit Nanopartikeln in Kontakt. Dadurch, dass kosmetische Produkte beispielsweise wirksam in den Stoffwechsel der Haut eingreifen, erfolgt hier eine Annäherung an medizinisch-pharmakologische Produkte. An die Marktzulassung für kosmetische Produkte werden aber geringere Anforderungen als an die Zulassung von Medikamenten gestellt [18].

Eine dermale Passage von Nanopartikeln durch die gesun-

de Haut ins Blut ist bislang noch nicht zweifelsfrei geklärt und stellt eine offene, prioritäre Frage dar. Der Grund für divergierende Aussagen liegt vermutlich in verschiedenen Untersuchungsmethoden. Bei Produkten wie Deodorants oder Haarshampoos bilden Nanopartikel vor allem die Trägersubstanz für Geruchs-, Farb- oder Feuchtigkeitsstoffe. Einer Klärung bedarf es gerade bei Sonnen- und Pflegecremes für Babys und Kleinkindern, da diese im Verhältnis zu ihrem Körpergewicht eine besonders große Hautoberfläche haben. Sollte es sich erweisen, dass Nanopartikel die gesunde Haut durchdringen können, wäre bei der Benutzung entsprechender Baby- bzw. Kleinkinderprodukte besondere Vorsicht geboten [36].

Auch im Bereich der Lebensmittel ergeben sich durch Na-

nopartikel neue Möglichkeiten. So werden z.B. synthetisch hergestellte Nano-Carotinoide Limonaden, Fruchtsäften und Margarine als Farbstoff zugesetzt. Ein weiteres Anwendungsbeispiel ist das Nano-Siliciumdioxid, das teilweise noch gecoatet, im Ketchup die Fließgeschwindigkeit reguliert oder im raffinierten Speisesalz die Rieselfähigkeit verbessert.

Nanopartikel entfalten ihre Wirkung u. a. in Abhängigkeit von der Größe. Als Grundproblem erscheint, dass bei einmal zugelassenen Stoffen aber weder deren Größe noch die dadurch veränderten Eigenschaften von den für die Zulassung zuständigen Behörden berücksichtigt werden. Daraus ergibt sich die grundsätzliche Frage, ob das Zulassungsverfahren für Stoffe im Lebensmittelbereich auch die Verwendung von Stoffen im nanoskaligen Bereich ausreichend berücksichtigt.

## 6 Messungen der LUBW

Die LUBW beschäftigt sich seit Anfang 2005 mit der Problematik von Nanopartikeln auf dem Gebiet des Arbeitsschutzes. Im Rahmen einer Diplomarbeit und einer Studienarbeit wurde diese Thematik im Jahr 2005 bearbeitet.

### 6.1 MESSTECHNIK

Um Aussagen über die Höhe der Exposition gegenüber Nanopartikeln oder Ultrafeinstäuben und gegebenenfalls daraus resultierende gesundheitliche Wirkungen machen zu können, sind spezielle Messverfahren erforderlich. Abhängig von Medium und Einsatzbereich (Umgebungsluft, Gewebeproben) kommen dabei zur Messung von Ultrafeinstaub unterschiedliche Methoden zum Einsatz.

In der Luft stößt die messtechnische Erfassung von Nanopartikeln mit herkömmlichen Methoden an ihre Grenzen, da durch gravimetrische Bestimmung (Filtersammlung einer definierten Staubfraktion, Bestimmung der Massenkonzentration durch Wägung) das geringe Partikelgewicht nicht oder nur mit hohem Zeitaufwand erfasst werden kann. Zudem ist es mit diesem Verfahren nicht möglich,



Abb. 6 Partikelkondensationskernzähler (links) mit elektrostatischem Klassifizierer (rechts)

Aussagen über den zeitlichen Verlauf der Belastung oder die Größenverteilung der Partikel zu machen.

Da zudem die Bedeutung der Teilchenanzahl (Teilchenkonzentration) und -größe von Nanopartikeln in der Luft gegenüber der Massenkonzentration als wesentlich aussagekräftiger angesehen wird, erfolgt die Erfassung von Partikeln unterhalb von  $1 \mu\text{m}$  i.d.R. durch Zählung mit optischen Methoden, mittels Kondensationskernzähler, wie er auch von der LUBW eingesetzt wird (siehe Abb. 6).

Die Größenverteilung der Partikel wird in Abhängigkeit vom elektrischen Mobilitätsdurchmesser mit Hilfe eines vorgeschalteten elektrostatischen Klassifizierers ermittelt. Mit diesem Verfahren können Teilchen mit einem aerodynamischen Durchmesser zwischen 10 und 1000 nm bei einer Konzentration von max.  $10^7$  Partikel/ $\text{cm}^3$  erfasst werden. Ein weiterer Vorteil der nach diesem Prinzip arbeitenden Geräte besteht in der Mobilität. Sie sind an Arbeitsplätzen, in geschlossenen Räumen und im Freien einsetzbar.

Ein Messzyklus im Bereich von 10 bis 1000 nm erfordert ca. 7 Minuten Messzeit und wird typischerweise wie in Abb. 7 (siehe Seite 23) dargestellt.

Eine Unterscheidung zwischen gezielt hergestellten Nanopartikeln und nicht künstlich hergestellten Ultrafeinstäuben ist mit dieser Methode nicht möglich. Eine Bestimmung von Carbon-Nanotubes bzw. Fullerenen gelingt nur bei gleichzeitiger Oberflächendarstellung mittels spezieller elektronen-mikroskopischer Methoden, welche in der LUBW mit dem vorhandenen, konventionellen Raster-Elektronen-Mikroskop nicht durchgeführt werden kann.

### 6.2 ERGEBNISSE

Um einen ersten Überblick über Teilchenkonzentration bzw. Teilchengrößenverteilung in Innen- und Arbeitsräumen im Vergleich zur Außenluft zu erhalten, hat die LUBW mittels des oben vorgestellten mobilen Partikelkondensationszählers erste Partikelmessungen im Bereich von ca. 10 bis 1000 nm durchgeführt. Die Ergebnisse erster messtechnischer Untersuchungen der Messstelle Arbeitsschutz können wie folgt zusammengefasst werden:

- Im Außenbereich variiert die Partikelzahlkonzentration sowie die Partikelgrößenverteilung am gleichen Messort sehr stark in Abhängigkeit von Luftfeuchtigkeit, Wind-

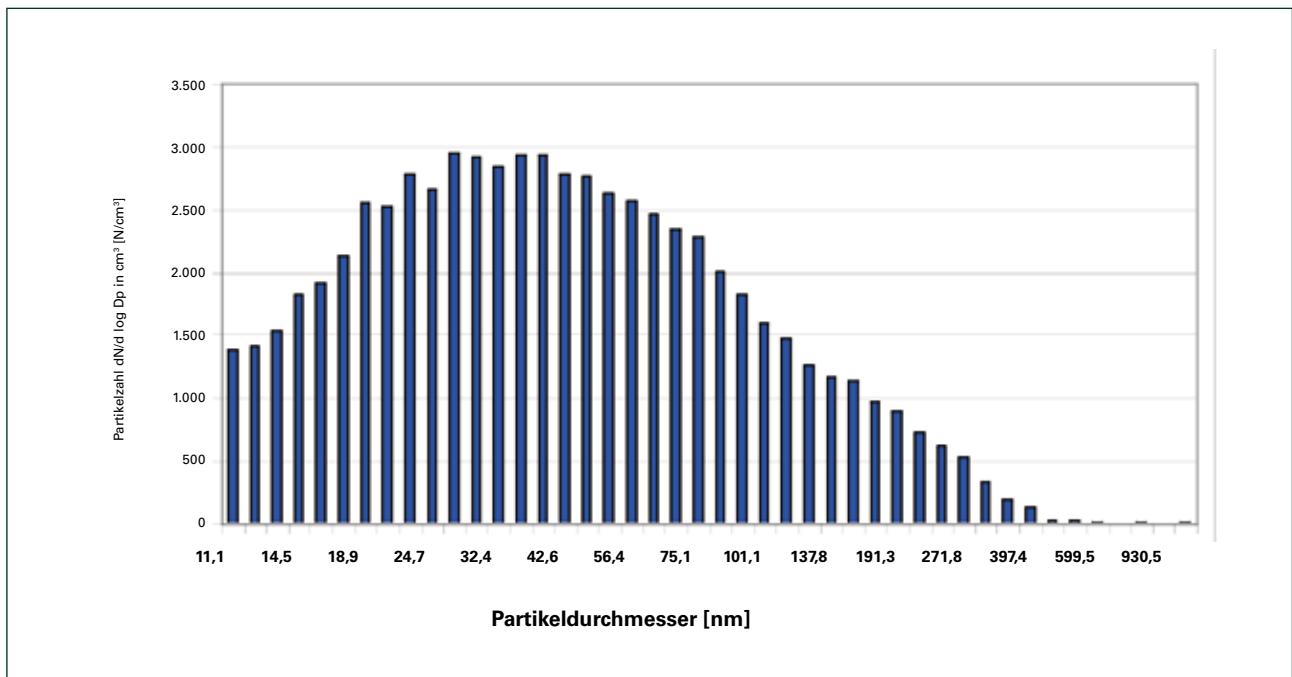


Abb. 7 Darstellung eines Messzyklus am Beispiel einer typischen Wohnraum-Partikelgrößenverteilung

stärke/ Windrichtung und Zeitpunkt der Messung und kann im Bereich zwischen ca. 20 000 und ca. 250 000 Partikeln pro  $\text{cm}^3$  [ $\text{N}/\text{cm}^3$ ] liegen.

- Auch in unauffälligen Büro- bzw. Laborräumen ist an unterschiedlichen Messterminen eine deutliche Variation der Partikelzahlkonzentration sowie der Partikelgrößenverteilung (in Abhängigkeit von der Außenluft) feststellbar. Es wurde im Bereich von 30 000 bis 200 000  $\text{N}/\text{cm}^3$  gemessen.
- In Küchen (Mensa), Raucherzimmern, Schleifarbeitsplätzen (Holzstaub) sowie in Räumen mit Holzfeuerung sind deutlich erhöhte Partikelzahlkonzentrationen (insbesondere sehr kleine Nanopartikel im Bereich bis ca. 80 nm!) detektierbar und wurden in einer Größenordnung von bis zu 4 Mio.  $\text{N}/\text{cm}^3$  festgestellt.

- Innerhalb von ca. 30 Minuten nach der Erzeugung sehr kleiner Nanopartikel (Bsp.: Holzschleifen; Holzfeuerung) finden deutlich erkennbare Aggregationseffekte zu größeren Nanopartikeln (400 bis 600 nm) statt.

Damit konnte bestätigt werden, dass bei der messtechnischen Erfassung von nicht gezielt hergestellten Nanopartikeln (Ultrafeinstäube) u.a. dynamische Aggregationsprozesse und wechselnde Umgebungsbedingungen einen erheblichen Einfluss auf die Partikelkonzentration bzw. Partikelverteilung in der Raumluft haben.

Es sind weitere messtechnische Grunderhebungen der Partikelkonzentration bzw. Partikelverteilung am Arbeitsplatz erforderlich, da hierzu unzureichende Informationen vorliegen. Es wird derzeit versucht, einen Überblick über entsprechende Betriebe zu erhalten und diesbezüglich Kontakt aufzunehmen.

# 7 Schlussfolgerungen

Bei neuartigen Technologien wie der Biotechnologie und Gentechnik sind in Deutschland in der Vergangenheit erhebliche Akzeptanzprobleme aufgetreten. Eine Ursache dafür war jeweils ein mangelnder Informationsaustausch zwischen Wissenschaft, Wirtschaft, Behörden und gesellschaftlichen Gruppen.

Vertrauen kann bereits am Start einer neuen Entwicklung erreicht werden durch:

- Vollständige und frühzeitige Information aller Beteiligten
- Formale Mitbestimmungsrechte für alle Beteiligten
- Vereinbarung für Mindeststandards im Arbeits-, Umwelt-, Verbraucher- und Gesundheitsschutz

Aufgrund dieser Erfahrungen wurden bei der Nanotechnologie bereits frühzeitig das Gespräch und der Informationsaustausch gesucht. Dieser Prozess ist u.a. mit einer vom BMU initiierten Tagung „Dialog Nanopartikel“ in Bonn im Oktober 2005 begonnen worden. Die Entwicklung der Technik soll diskursiv und durch eine gestaltende Verbraucherschutz- und Umweltpolitik begleitet werden. Für die in dieser Situation erforderliche Risikokommunikation soll ein gemeinsamer Weg beschritten werden, der auf Grundlage einer verbindlichen Struktur zu Glaubwürdigkeit, Vertrauen und Akzeptanz führt.

Nanotechnologie ist mit ihren Potenzialen zur Steigerung der Ressourcen- und Energieeffizienz gerade unter ökologischen Gesichtspunkten interessant. Sie könnte damit zu einer Erfolgsgeschichte unter der großen Überschrift „Arbeit und Umweltschutz“ werden. Allerdings müssen hierfür parallel die Risikofragen intensiv bearbeitet und ein offener und transparenter Dialog über Nutzen und Risiken geführt werden. Die Aufgabe der nahen Zukunft wird es sein, für diesen Prozess die wichtigen Meilensteine zu vereinbaren und die erforderlichen Arbeits- und Kommunikationsstrukturen zu schaffen.

Die Nanotechnologie wird hinsichtlich Produktionsverfahren und Anwendungen mit großem Einsatz vorangetrieben. Demgegenüber ist der Stand der Forschung über die mögliche Gesundheits- und Umweltrelevanz der Nanotechnologie noch unbefriedigend. Bisher vorliegende Erkenntnisse lassen eine zufrieden stellende Risikoabschätzung für Umwelt-, Arbeits- und Verbraucherschutz nicht zu.

Zu den wesentlichen übergeordneten Fragen, die für den Arbeits-, Umwelt-, Verbraucher- und Gesundheitsschutz im Zusammenhang mit einer Risikobewertung der Nanotechnologie zu klären sind, gehören u.a.:

- In welchen Mengen und mit welchen Eigenschaften (Oberfläche, Form, Zusammensetzung) werden synthetische Nanopartikel bei welchen Vorgängen (Herstellung, Verarbeitung, Nutzung, Entsorgung) freigesetzt?
- Welche synthetischen Nanopartikel in welcher Größe beeinträchtigen die Gesundheit?
- Welche Eigenschaften der Nanopartikel und welche Reaktionen im menschlichen Körper spielen dabei eine Rolle?
- Lassen sich Dosis-Wirkungsbeziehungen quantifizieren?
- Reichen die derzeitigen gesetzlichen Rahmenbedingungen aus, um der Nanotechnologie auf der einen Seite ausreichend Chancen zu Entwicklung zu geben und auf der anderen Seite Arbeits-, Umwelt-, Verbraucher- und Gesundheitsschutz zu gewährleisten?

Im Bereich des Umweltschutzes sind unter dem Aspekt der allgemeinen Chemikaliensicherheit die Fragestellungen u.a. zu erweitern:

- Wie und in welchen Mengen werden synthetische Nanopartikel in der Umwelt freigesetzt?
- Wie verhalten sich Nanopartikel in der Umwelt und in Organismen (Abbau, Akkumulation, Agglomeration, Löslichkeit etc.)?
- Welchen Einfluss üben sie auf Nahrungsketten aus?

Vor dem Hintergrund der bislang vorliegenden Erkenntnisse und dieser offenen Fragen ist es schwer nachvollziehbar, dass in der bisherigen Diskussion über Nutzen und Risiken der Nanotechnologie von der Industrie [37] die Position vertreten wird, dass keine weiteren rechtlichen Regelungen erforderlich sind. Vorhandene Regelungen sollen demnach alle Risiken abdecken und die gegenwärtigen Schutzmöglichkeiten ausreichend sein.

Die neue europäische Chemikalienverordnung REACH deckt Entwicklungen in der Nanotechnologie nicht zwangsläufig ab. Den Herstellern von Nanopartikeln obliegt aus



REACH die Verpflichtung, Stoffe auf ihre Verwendung zu prüfen und geeignete Risikomanagementmaßnahmen zu ermitteln. Dies setzt aber voraus, dass Kenntnisse verfügbar sind oder zugänglich gemacht werden können.

Solange allerdings Nanomaterialien nur in kleinen Mengen eingesetzt werden, ist nicht zu erwarten, dass sich aus REACH heraus eine Verpflichtung zur Datenvervollständigung ergibt. Da nach REACH Stoffe mit Produktionsmengen < 1 Tonne gar nicht zu registrieren sind, werden, sofern es bei Produktionsmengen in dieser Größenordnung bleibt, u.U. keine Daten erhältlich sein. Für große Mengen sieht REACH eine systematische toxikologische und ökotoxikologische Bewertung von Alt- und Neustoffen und ihren Verwendungen vor. Allerdings handelt es sich bislang um Bewertungen mit konventionellen toxikologischen und ökotoxikologischen Kriterien und Tests. Diese decken die Fragestellungen aus der Nanotechnologie derzeit nicht ab. Sie können dies auch gar nicht, weil gegenwärtig die für die Bewertung von Nanopartikeln erforderlichen Testmethoden und Kriterien noch gar nicht zugänglich bzw. noch nicht entwickelt worden sind.

Eine prioritäre Aufgabe der staatlichen Seite sollte es somit sein, zu prüfen, inwieweit das geltende Regularium ausreichend ist und es an die Entwicklungen in der Nanotechnologie zu adaptieren. Hierzu sind die Positionen sehr kontrovers [38]. Die Royal Society sah im Jahre 2004 keinen Bedarf für spezielle Regularien für die Nanotechnologie, wohl aber den Bedarf bestehende Gesetze zu ergänzen. Danach sollten beispielsweise synthetische Nanopartikel als Neustoffe im Sinne von REACH behandelt werden. Eine systematische und umfassende Analyse des derzeitigen für Anwendungen der Nanotechnologie relevanten Rechtsrahmens erscheint erforderlich. Im Vordergrund sollten dabei zunächst die aktuellen und die in naher Zukunft zu erwartenden nanotechnologischen Anwendungen stehen. Es ist zu klären, welche Rechtsbereiche zu berücksichtigen sind. Als Rechtsbereiche kommen grundsätzlich in Frage: Bundesimmissionsschutzgesetz und andere Umweltgesetze, Chemikaliengesetz, Arbeitsschutzgesetz, Arzneimittelgesetz, Medizinproduktegesetz, Lebensmittel- und Futtermittelgesetzbuch sowie die Novel-Food-Verordnung.

Die bislang vorliegenden Erkenntnisse und Hinweise reichen aus, um eine sorgfältige Risikoabschätzung für Nanotechnologien zu fordern. Untersuchungsergebnisse legen nahe, dass es auch bisher wenig beachtete Wege gibt, auf

denen Nanopartikel in den menschlichen Organismus gelangen können (z.B. über die Nase ins Gehirn).

Solange eine Risikoabschätzung und -bewertung nicht erfolgt ist, sollte eine Präventionsstrategie verfolgt werden:

- Synthetisch hergestellte Nanopartikel wie Nanotubes und Fullerene, die bislang nicht in der Umwelt vorkommen, sollten aus Vorsorgegründen nicht in nennenswertem Umfang in die Umwelt oder in Abfallströme gelangen, wie es von der Royal Society empfohlen wird [4].
- Wenn möglich sollte die Produktion und Verarbeitung von Nanopartikeln in geschlossenen Systemen erfolgen.
- Arbeitsbereiche bei der Herstellung / Verwendung von synthetischen Nanopartikeln sind abzugrenzen und ggf. nur mit persönlicher Schutzausrüstung (FFP-Filter) zu betreten. Die vorhandenen persönlichen Schutztechniken sind ausreichend (BGIA) [39], sollten aber begleitend zur Nanotechnologie weiterentwickelt werden (VCI) [40].

Als Mess- und Beurteilungsgrundlage für die Exposition gegenüber Nanopartikeln ist grundsätzlich die Teilchenkonzentration bzw. Teilchengrößenverteilung anstatt allein die Massenbestimmung heranzuziehen. Gesetzliche Bestimmungen im Immissionsschutz und Arbeitsschutz zur Überwachung von Partikeln basieren gegenwärtig auf der Massenbestimmung. Hier wird angeregt, entsprechende Änderungen an die Entwicklung einer toxikologischen Bewertungsgrundlage zu koppeln. Eine spezifische Bestimmung toxikologisch relevanter Teilchen und Teilchengrößenfraktionen ist als nächstes Ziel anzugehen.

In „Life-cycle-Projekten“ von Nanotechnologieprodukten sollten einerseits die (umweltbezogenen) Vorteile gegenüber herkömmlichen Techniken herausgearbeitet und kommuniziert werden, um die Entwicklung der Nanotechnologien weiter zu unterstützen. Andererseits sollten diese Studien aber auch dazu genutzt werden, für Umwelt und Gesundheit unerwünschte Effekte zu beschreiben und möglichst auszuschließen.

In Anbetracht der Kenntnislücken wäre ein begleitendes Monitoringprogramm zur Anwendungsentwicklung in der Nanotechnologie sinnvoll. Dieses Programm könnte regelmäßig Hinweise auf medizinische, ökologische, gesellschaftliche und wirtschaftliche Folgen erheben, evaluieren und im Bedarfsfall rechtzeitig erforderlich werdende Modi-

fikationen des relevanten Rechtsrahmens einfordern [2]. Die Akzeptanz der Nanotechnologie wird wahrscheinlich am größten sein, wenn ihre möglichen Auswirkungen auf Umwelt und Gesundheit sowie auf die Gesellschaft, frühzeitig erkannt werden. Dieses Wissen kann Wirtschaft

und Gesellschaft vor Fehlinvestitionen und Folgekosten bewahren. Risikokommunikation und Technologiefolgenabschätzung sind Werkzeuge, um derartige Risiken bereits frühzeitig in die öffentliche Diskussion einzubringen und mittels fundierem Wissen zu vermeiden bzw. zu minimieren [41]

## 8 Quellenangaben

- [1] <http://www.itas.fzk.de/tatup/042/tief04a.pdf> (Tiefenauer, L., Paul Scherrer Institut; Schweiz)
- [2] <http://dip.bundestag.de/btd/15/027/1502713.pdf> (Nanotechnologie: Büro für Technikfolgenabschätzung beim Deutschen Bundestag (TAB))
- [3] [www.komm-passion.de](http://www.komm-passion.de) (komm.passion group 2004)
- [4] The Royal Society & The Royal Academy of Engineering, Nanoscience and Nanotechnologies, (July 2004)
- [5] <http://www.handelsblatt.com/pshb?fn=tt&sfn=go&id=1044762> (Buhlmann 2005)
- [6] Dr. M. Pridöhl (Degussa/Dechema) Vortrag 23.05.2005 in Stuttgart
- [7] <http://de.wikipedia.org/wiki/Nanopartikel>
- [8] [www.dialog-nanopartikel.de](http://www.dialog-nanopartikel.de)
- [9] DIN EN 481, „Arbeitsplatzatmosphäre – Festlegung der Teilchenverteilung zur Messung luftgetragener Partikel“, Berlin, Beuth Verlag GmbH (1993)
- [10] Schedler, K., „Handbuch Umwelt, Technik, Recht“, S. 48/49 (1994)
- [11] Möller, D.: Luft, Verlag de Gruyter (2003)
- [12] Krug, N.: Mechanismen ultrafeiner Partikel, Gefahrstoffe – Reinhaltung der Luft 11/12, S. 459 (2005)
- [13] Technische Regeln für Gefahrstoffe (TRGS): TRGS 900 – Arbeitsplatzgrenzwerte, Ausgabe Januar 2006 (BArbBl. 1/2006 S. 41)
- [14] RL 1999/30/EG vom 22.04.1999 (EG-Amtsblatt L163, S. 41)
- [15] <http://www.vdmi.de>
- [16] Der Aktionär, 12.1.2005
- [17] BMBF „Nanotechnologie in Deutschland“ (Mai 2002)
- [18] H. Paschen, C.Coenen, T. Fleischer, R. Grünwald, D. Oertel, C. Revermann: „Nanotechnologie“, Springer Verlag (2004)
- [19] Umweltministerium Baden-Württemberg: „Zukunftspotentiale der Mikro- und Nanotechnologie als Schlüsseltechnologie für die Umwelttechnik in Baden-Württemberg“ (2002)
- [20] [www.nanoroad.net](http://www.nanoroad.net)
- [21] [www.nanomat.de](http://www.nanomat.de)
- [22] <http://www.bmbf.de/press/1737.php>
- [23] <http://www.bmbf.de/de/5915.php> und Gefahrstoffe - Reinhaltung der Luft, S.189 (2006)
- [24] Nanotechnologie: Gesundheits- und Umweltrisiken von Nanopartikeln – Forschungsstrategie (Entwurf); Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin, Dortmund (August 2006)
- [25] Bloome, H.: Treffen europäischer Arbeitsschutzinstitute zu aktuellen Gefahrstoffthemen, Gefahrstoffe – Reinhaltung der Luft, S. 62 (2006)
- [26] Pers. Mitteilung Prof. Krug, Forschungszentrum Karlsruhe (2006)
- [27] <http://www.schutzdesign.de/Schutzkonzept%20%20Nanotechnologie.htm>
- [28] <http://www.gsf.de/neu/Aktuelles/Zeitschriften/Aerosole/Aerosolbroschuere.pdf>  
(Aerosolforschung in der GSF)
- [29] Ruuskanen, J. et al, Department of Environmental Sciences, University of Kuopio, Kuopio, Finland (2001)
- [30] [http://www.umwelt-schweiz.ch/buwal/de/medien/umwelt/2000\\_2/unterseite5/index.html](http://www.umwelt-schweiz.ch/buwal/de/medien/umwelt/2000_2/unterseite5/index.html)
- [31] [http://events.ccc.de/congress/2005/fahrplan/attachments/585-paper\\_TheTruthAboutNanotechnology.pdf](http://events.ccc.de/congress/2005/fahrplan/attachments/585-paper_TheTruthAboutNanotechnology.pdf)  
(Boeing, N. “Die Risiken der Nanotechnik“)
- [32] Boeing, Nils: Die Risiken der Nanotechnik, nano.bitfaction.com
- [33] A. v. Mikecz: “Nanopartikel können Funktionen des Zellkerns stören”, Pressemeldung des Instituts für umweltmedizinische Forschung (IUF) an der Heinrich-Heine-Universität Düsseldorf vom 21.03.2005

- [34] Oberdörster, G. et. al: "Nanotoxicology: An Emerging Discipline Evolving from Studies of Ultrafine Particles", Environmental Health Perspectives., S. 823-839 (2005)
- [35] Heller, D.; Sievering, S.: Kenntnisstand zu gesundheitlichen Wirkungen nach inhalativer Exposition gegenüber synthetischen Nanopartikeln in der Nanotechnologie (Stand: 4/2007), Landesamt für Natur, Umwelt und Verbraucherschutz NRW
- [36] Nanotechnologie: Kleine Teile – grosse Zukunft?, Swiss Reinsurance Company (2004)
- [37] VCI-Position zum Umgang mit Nanopartikeln, Internes Papier vom 01.02.2006
- [38] <http://www.dialog-nanopartikel.de/Synthetische%20Nanopartikel-%20Stakeholderbefragung.pdf>  
(Synthetische Nanopartikel – Ergebnisse der Stakeholderbefragung)
- [39] <http://www.dialog-nanopartikel.de/09%20Moehlmann.pdf> (Möhlmann, C., BGIA)
- [40] <http://www.dialog-nanopartikel.de/20%20Grobe%20BMU%20UBA%20BAUA%20Workshop%20Arbeitsschutz.pdf> (Grobe, A.)
- [41] Synthetische Nanomaterialien; Bundesamt für Umwelt (BAFU) und Bundesamt für Gesundheit (BAG), Bern (2007)

# Anhang

## LINKS RUND UM DAS THEMA NANOTECHNOLOGIE UND ULTRAFEINSTAUB (STAND: MAI 2007)

- Die hier aufgeführten Links verweisen auf Internetseiten zum Thema Nanotechnologie und wurden überwiegend von der BAuA zusammengestellt
- Keine Gewähr für Aktualität, Richtigkeit, Vollständigkeit und Fehlerfreiheit der Angaben auf den verlinkten Seiten!

### DEUTSCHLAND

BMU: Nanotechnologie

[http://www.bmu.de/gesundheit\\_und\\_umwelt/nanotechnologie/kurzinfo/doc/37260.php](http://www.bmu.de/gesundheit_und_umwelt/nanotechnologie/kurzinfo/doc/37260.php)

Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin, Dortmund

<http://www.baua.de/>

Umweltbundesamt, Berlin

<http://www.umweltbundesamt.de/cgi-bin/query-d.pl?swishindex=%2Fusr%2Flocal%2Fbin%2Fswish-e-indizes%2Fuba-allg.swish&keywords=Nanopartikel&submit=Suche+starten>

Bundesinstitut für Risikobewertung, Berlin

<http://www.bfr.bund.de/>

BMU-BAuA-UBA-Tagung am 11/12.10.2005 in Bonn: Dialog zur Bewertung von synthetischen Nanopartikeln in Arbeits- und Umweltbereichen

[www.dialog-nanopartikel.de/](http://www.dialog-nanopartikel.de/)

VCI-Nanomaterialien

[www.vci.de](http://www.vci.de)

<http://www.chemlin.de/chemie/nanotechnologie.htm>

DFG-Projekt zur „Politik der Nanotechnologie“ - Freie Universität Berlin

[www.nanotechnologiepolitik.de/](http://www.nanotechnologiepolitik.de/)

Innovations- und Technikanalyse (ITA) des Bundesministeriums für Bildung und Forschung

[www.innovationsanalysen.de/](http://www.innovationsanalysen.de/)

Nanotechnologie: Büro für Technikfolgenabschätzung beim Deutschen Bundestag (TAB)

<http://dip.bundestag.de/btd/15/027/1502713.pdf>

Zusammenfassung des TAB-Arbeitsberichtes Nr. 92 „Nanotechnologie“

[www.tab.fzk.de/de/projekt/zusammenfassung/ab92.htm](http://www.tab.fzk.de/de/projekt/zusammenfassung/ab92.htm)

BGIA: Ultrafeine Aerosole am Arbeitsplatz

[www.hvbg.de/d/bia/akt/nanopartikeln/index.html](http://www.hvbg.de/d/bia/akt/nanopartikeln/index.html)

BIA-Report 7/2003: BIA-Workshop „Ultrafeine Aerosole an Arbeitsplätzen“

[www.hvbg.de/d/bia/pub/rep/rep04/bia0703.html](http://www.hvbg.de/d/bia/pub/rep/rep04/bia0703.html)

VDI Technologiezentrum: Technological Analysis: Industrial application of nanomaterials – chances and risks

[www.vdi.de/vdi/organisation/schnellauswahl/techno/arbeitsgebiete/zukunft/sub/10803/index.php](http://www.vdi.de/vdi/organisation/schnellauswahl/techno/arbeitsgebiete/zukunft/sub/10803/index.php)

Techportal Nanotechnologie - VDI Technologiezentrum GmbH

[www.techportal.de/de/b/2/start,public,start/](http://www.techportal.de/de/b/2/start,public,start/)

NanoCare – BMBF/Industrie-Projekt

[www.bmbf.de/de/5915.php](http://www.bmbf.de/de/5915.php)

[www.nanopartikel.info/main.html](http://www.nanopartikel.info/main.html)

BMBF-Forschungsprojekt INOS „Identifizierung und Bewertung von Gesundheits- und Umweltauswirkungen von technischen nanoskaligen Partikeln“, Prüflabor für nanoskalige Materialien

[www.nanotox.de](http://www.nanotox.de)

Dechema Fachsektion Nanotechnologie

[www.dechema.de/Nanotechnologie.html](http://www.dechema.de/Nanotechnologie.html)

Netzwerk für Materialien der Nanotechnologie

[www.nanomat.de](http://www.nanomat.de)

Allianz/OECD 2005: Small sizes, that matters: Opportunities and risks of nanotechnologies

[www.allianz.com/azcom/dp/cda/0,,796454-44,00.html](http://www.allianz.com/azcom/dp/cda/0,,796454-44,00.html)

Nanotechnologie-Ausstellung „Aufbruch in neue Welten“, Kompetenzzentrum HanseNanoTec

[www.hansenanotec.de/nanoausstellung/](http://www.hansenanotec.de/nanoausstellung/)

Institut für umweltmedizinische Forschung an der Heinrich-Heine-Universität Düsseldorf -

Arbeitsbereich Partikelforschung

[www.iuf.uni-duesseldorf.de/forschung/partikel.htm](http://www.iuf.uni-duesseldorf.de/forschung/partikel.htm)

Kompetenznetze Nanotechnologie

[www.kompetenznetze.de/navi/de/kompetenznetze.html?suchtext=&suchfeld=feld\\_nanotechnologie&suchregion=&start.x=7&start.y=12](http://www.kompetenznetze.de/navi/de/kompetenznetze.html?suchtext=&suchfeld=feld_nanotechnologie&suchregion=&start.x=7&start.y=12)

Aktionslinie hessen-nanotech des Hessischen Ministeriums für Wirtschaft, Verkehr und Landesentwicklung

[www.hessen-nanotech.de/](http://www.hessen-nanotech.de/)

Center for Nanotechnology

[www.centech.de/index.php?Script=1&Lang=de&SW=1024](http://www.centech.de/index.php?Script=1&Lang=de&SW=1024)

Universität Duisburg / Essen - Nanopartikel Prozess-technologie

[www.uni-duisburg-essen.de/ivg/nano/](http://www.uni-duisburg-essen.de/ivg/nano/)

Landkarte „Nanotechnology in Deutschland“ - VDI Technologiezentrum GmbH  
[www.nano-map.de/index.php](http://www.nano-map.de/index.php)

Informationssekretariat Chemische Nanotechnologie (ISN) der DECHEMA Gesellschaft für Chemische Technik und Biotechnologie e.V.  
[www.infonano.de/](http://www.infonano.de/)

Branchenatlas von Firmen mit Bezug zur Nanotechnologie in Deutschland  
[www.nanoingermany.com/](http://www.nanoingermany.com/)

Deutschland-Funk Bericht „Der unsichtbare Boom Nanotechnologie in Deutschland“ vom 14.08.05  
[http://ondemand-mp3.dradio.de/file/dradio/2005/08/14/df\\_1840.mp3](http://ondemand-mp3.dradio.de/file/dradio/2005/08/14/df_1840.mp3)

Nano-Lernstation des Deutschen Museums Bonn  
[www.mannometer-nanometer.de/index2.htm](http://www.mannometer-nanometer.de/index2.htm)

GSF-Forschungszentrum für Umwelt und Gesundheit: Review zum Thema Feinstaub und Nano-partikel  
[http://www0.gsf.de/neu/Aktuelles/Zeitschriften/index\\_aerosole.php](http://www0.gsf.de/neu/Aktuelles/Zeitschriften/index_aerosole.php)

Nano4women - internationale Fachtagung am 18.11.2005 in Paderborn  
[www.nano-4-women.de/start.php](http://www.nano-4-women.de/start.php)

Universität Duisburg-Essen  
Ein Schwerpunkt der Forschungsarbeiten u. Dienstleistungen sind die Untersuchungen v. Filtern mit unterschiedlichen Teststäuben und bspw. die Abhängigkeit des Fraktionsabscheidegrades v. Ladungszustand der Partikel etc.  
[www.uni-duisburg.de/FB7/fach5.html](http://www.uni-duisburg.de/FB7/fach5.html)

Institut für Angewandte und Physikalische Chemie (IAPC) – Uni Bremen – Forschungsschwer-punkt  
<http://iapc.chemie.uni-bremen.de/forschung.html>

Nanobotschafter am Deutschen Museum  
[www.nanobotschafter.de/pages/deutsch/startseite.html](http://www.nanobotschafter.de/pages/deutsch/startseite.html)

Weitere Nano-Links  
[http://www.falter.at/heureka/archiv/04\\_4/14.php?SESSID=1492a08868fbddb1d370db122a935b46#risiken](http://www.falter.at/heureka/archiv/04_4/14.php?SESSID=1492a08868fbddb1d370db122a935b46#risiken)

## **EUROPA**

Europäische Union  
[www.cordis.lu/nanotechnology](http://www.cordis.lu/nanotechnology)  
[www.cordis.lu/nmp/home.html](http://www.cordis.lu/nmp/home.html)

Förderprojekte der Europäischen Union  
nano-derm: Die Haut als Barriere: [www.uni-leipzig.de/~nanoderm/](http://www.uni-leipzig.de/~nanoderm/)  
nano-safe: Produktionsrisiken: [www.nanosafe.org/](http://www.nanosafe.org/)

nano-tox: Toxikologische Wirkung von Nanoteilchen auf die Gesundheit und die Umwelt:  
[www.impart-nanotox.org/](http://www.impart-nanotox.org/)

NanoSci-ERA  
[www.nanosci-era.org/](http://www.nanosci-era.org/)  
[www.nanoscience-europe.org/index.php](http://www.nanoscience-europe.org/index.php)

nanoforum.org - Internetportal finanziert von der EU  
[www.nanoforum.org/](http://www.nanoforum.org/)

4th Nanoforum Report „Benefits, Risks, Ethical, Legal and Social Aspects of Nanotechnology“  
[www.nanoforum.org/nf06~modul~showmore~folder~99999~scid~341~.html?action=longview\\_publication&](http://www.nanoforum.org/nf06~modul~showmore~folder~99999~scid~341~.html?action=longview_publication&)

Schweizer Bundesamt für Umwelt:  
[www.umwelt-schweiz.ch](http://www.umwelt-schweiz.ch)

nanologue.net  
[www.nanologue.net/](http://www.nanologue.net/)

UK Royal Society report on „Nanoscience and nanotechnologies: opportunities and uncertainties“  
[www.nanotec.org.uk/finalReport.htm](http://www.nanotec.org.uk/finalReport.htm)

Reaktion der UK-Regierung auf Report der UK Royal Society  
[http://www.ost.gov.uk/policy/issues/nanotech\\_final.pdf](http://www.ost.gov.uk/policy/issues/nanotech_final.pdf)

Arbeitsprogramm der UK-Regierung in Reaktion auf Report der UK Royal Society  
<http://www.ost.gov.uk/policy/issues/programme12.pdf>

The Institute of Nanotechnology  
[www.nano.org.uk/](http://www.nano.org.uk/)

Defra – Department for Environment, food and Rural Affairs  
[www.defra.gov.uk/environment/nanotech/index.htm](http://www.defra.gov.uk/environment/nanotech/index.htm)

National Center of Competence in Research  
[www.nccr-nano.org/nccr/](http://www.nccr-nano.org/nccr/)

Euronanoforum2005: 5/9.9.2005 in Edinburgh  
[www.euronanoforum2005.org/](http://www.euronanoforum2005.org/)

ECETOC: Workshop on Nanomaterials 7/9.11.2005 in Barcelona  
[www.ecetoc.org/content/default.asp?PageID=214](http://www.ecetoc.org/content/default.asp?PageID=214)

NanoEurope 2006, 12.-14.Sept.06  
[www.olmamessen.ch/wDeutsch/messen/nanoeurope/01\\_besucher/home/homeW3DnavanchorW262410314.php](http://www.olmamessen.ch/wDeutsch/messen/nanoeurope/01_besucher/home/homeW3DnavanchorW262410314.php)



Innovationsgesellschaft mbH St. Gallen – Schwerpunkt Nanotechnologie  
[www.innovationsgesellschaft.ch/themen.htm](http://www.innovationsgesellschaft.ch/themen.htm)  
[www.innovationsgesellschaft.ch/nano\\_regulation.htm](http://www.innovationsgesellschaft.ch/nano_regulation.htm)

Stiftung Risiko-Dialog, St. Gallen  
[www.risiko-dialog.ch/](http://www.risiko-dialog.ch/)

Health and Safety Laboratory: First International Symposium on Occupational Health Implications of Nanomaterials,  
12/14.10.2004 in Buxton, UK  
[www.hsl.gov.uk/news/index.htm#nano](http://www.hsl.gov.uk/news/index.htm#nano)

Workshop „Issues on toxicity of carbon nanotubes“ in Frankreich am 23.09.2005  
[www.canapeweb.com/workshop.html](http://www.canapeweb.com/workshop.html)

nanotechweb.org – Nanotechnologie - Nachrichten, Produkte, Jobs und Informationen  
<http://nanotechweb.org/contact/team.cfm>

Nano2Life - European Network for Nanobiotechnology  
[www.nano2life.org/](http://www.nano2life.org/)

Public consultation SCENIHR Opinion on How to Assess the Potential Risks of Nanotechnologies  
[http://europa.eu.int/comm/health/ph\\_risk/committees/04\\_scenihhr/scenihhr\\_cons\\_01\\_en.htm](http://europa.eu.int/comm/health/ph_risk/committees/04_scenihhr/scenihhr_cons_01_en.htm)

Cancer Nanotech Conference 2006  
[www.upperside.fr/nanocancer2006/nanocancer2006intro.htm](http://www.upperside.fr/nanocancer2006/nanocancer2006intro.htm)

Health and Consumer Protection DG - EU workshop „Nanotechnologies: A Preliminary Risk Analysis“ in March 2004  
[http://europa.eu.int/comm/health/ph\\_risk/events\\_risk\\_en.htm](http://europa.eu.int/comm/health/ph_risk/events_risk_en.htm)

HSE (Health and Safety Executive) - Health effects of particles produced for nanotechnologies 2004  
[www.hse.gov.uk/horizons/nanotech/](http://www.hse.gov.uk/horizons/nanotech/)

Nanoparticles: An occupational hygiene review 2004 prepared by IOM for HSE (UK)  
<http://www.hse.gov.uk/research/rrhtm/rr274.htm>

NanoSpain – Spanish Nanotechnology Network  
[www.nanospain.org/nanospain.htm](http://www.nanospain.org/nanospain.htm)

Bundesamt für Berufsbildung und Technologie, Bern  
Technologie Orientiertes Programm TOP Nano 21 – Safety and risks of Nanotechnology  
[www.temas.ch/nano/nano\\_homepage.nsf/vwAllByKey/home%7Cde](http://www.temas.ch/nano/nano_homepage.nsf/vwAllByKey/home%7Cde)

Università di Modena e Reggio Emilia – Laboratorio di Biomaterialia – Nanopathology  
[www.nanopathology.it/paginei/menu.htm](http://www.nanopathology.it/paginei/menu.htm)

ISO launches work on nanotechnology standards

[www.iso.org/iso/en/commcentre/pressreleases/2005/Ref980.html](http://www.iso.org/iso/en/commcentre/pressreleases/2005/Ref980.html)

Swiss Re report „Nanotechnology. Small matter, many unknowns“, [www.swissre.com/INTERNET/pwswpspr.nsf/fmBookMarkFrameSet?ReadForm&BM=../vwAllbyIDKeyLu/ULUR-5YAFFS?OpenDocument](http://www.swissre.com/INTERNET/pwswpspr.nsf/fmBookMarkFrameSet?ReadForm&BM=../vwAllbyIDKeyLu/ULUR-5YAFFS?OpenDocument)

Nanotechnology in Northern Europe

[www.nano.fi](http://www.nano.fi)

#### **USA / INTERNATIONAL**

OECD-Workshop on the Safety of Manufactured Nanomaterials

[www.oecd.org/document/35/0,2340,en\\_2649\\_201185\\_35406051\\_1\\_1\\_1\\_1,00.html](http://www.oecd.org/document/35/0,2340,en_2649_201185_35406051_1_1_1_1,00.html)

2nd International Symposium on Nanotechnology and Occupational Health: 3/6.10.2005 in Minneapolis

[www.memsnet.org/events/1121289880-0/](http://www.memsnet.org/events/1121289880-0/)

ICON – International Council On Nanotechnology

<http://icon.rice.edu/>

ICON-Datenbank

Citation information and summaries of peer-reviewed papers on environmental health and safety research on incidental and engineered nanoparticles are collected for your review within this data-base.

<http://icon.rice.edu/research.cfm>

CBEN: Center for Biological and Environmental Nanotechnology, Rice University

<http://cben.rice.edu/>

CNS-UCSB Center for Nanotechnology in Society - University of California, Santa Barbara

[www.cns.ucsb.edu/](http://www.cns.ucsb.edu/)

Environmental Defense - Nanotechnology

[www.environmentaldefense.org/issue.cfm?subnav=29](http://www.environmentaldefense.org/issue.cfm?subnav=29)

Richard E. Smalley Institute for Nanoscale Science and Technology at Rice University

<http://cohesion.rice.edu/centersandinst/cnst/index.cfm>

ASTM: International Standards worldwide: Committee E56 on Nanotechnology

[www.astm.org/cgi-bin/SoftCart.exe/COMMIT/COMMITTEE/E56.htm?E+mystore](http://www.astm.org/cgi-bin/SoftCart.exe/COMMIT/COMMITTEE/E56.htm?E+mystore)

National Institute for Occupational Safety and Health (NIOSH)

[www.cdc.gov/niosh/topics/nanotech/](http://www.cdc.gov/niosh/topics/nanotech/)

[www.cdc.gov/niosh/topics/nanotech/nano\\_exchange.html](http://www.cdc.gov/niosh/topics/nanotech/nano_exchange.html)

NIOSH - Web-Based Nano-Information Library  
[www.cdc.gov/niosh/topics/nanotech/NIL.html](http://www.cdc.gov/niosh/topics/nanotech/NIL.html)

National Institute of Environmental Health Sciences (NIEHS) - Nanotechnology  
[www.niehs.nih.gov/external/faq/alpha-n.htm#nano](http://www.niehs.nih.gov/external/faq/alpha-n.htm#nano)

Günter Oberdörster, Eva Oberdörster, and Jan Oberdörster 2005: Nanotoxicology: An Emerging Discipline Evolving from Studies of Ultrafine Particles  
<http://ehp.niehs.nih.gov/members/2005/7339/7339.pdf>

Eva Oberdörster, Ph.D. – Informal information on toxicity of engineered nanomaterials  
[www.nanotox.info/pages/1/index.htm](http://www.nanotox.info/pages/1/index.htm)

Environmental Protection Agency (EPA) - Nanotechnology  
<http://es.epa.gov/ncer/nano/>

National Nanotechnology Initiative (NNI)  
[www.nano.gov/](http://www.nano.gov/)

National Cancer Institute (NCI) - Alliance for Nanotechnology in Cancer  
<http://nano.cancer.gov/>

nanoparticles.org (Partikel-technologie)  
<http://nanoparticles.org/>

Nano Science and Technology Institute (NSTI)  
[www.nsti.org/](http://www.nsti.org/)

Project on emerging Nanotechnologies - Datenbank des Wilson Centers  
[www.nanotechproject.org/](http://www.nanotechproject.org/)

nanowerk Nanomaterial Database™  
[www.nanowerk.com/](http://www.nanowerk.com/)

Center on Nanotechnology and Society (CONAS), Chicago  
[www.nano-and-society.org/index.htm](http://www.nano-and-society.org/index.htm)

Texas Nanotechnology Initiative (TNI)  
[www.texasnano.org/default.htm](http://www.texasnano.org/default.htm)

California NanoSystems Institute at UCLA (University of California Los Angeles)  
[www.cnsi.ucla.edu/index](http://www.cnsi.ucla.edu/index)

Blue Ribbon Task Force on Nanotechnology  
[www.blueribbonnano.org/](http://www.blueribbonnano.org/)

The International Risk Governance Council (IRGC)

[www.irgc.org/](http://www.irgc.org/)

Applied NanoWorks, Inc – Nanoprodukte (Produktdaten)

[www.appliednanoworks.com/products/index.html](http://www.appliednanoworks.com/products/index.html)

Sigmaaldrich - Katalog - Nanoprodukte (PC-Daten, Sicherheitsdatenblätter etc.)

[www.sigmaaldrich.com/Area\\_of\\_Interest/Chemistry/Materials\\_Science/Nanomaterials.html](http://www.sigmaaldrich.com/Area_of_Interest/Chemistry/Materials_Science/Nanomaterials.html)

Journal of Nanoparticle Research

[http://springerlink.metapress.com/\(4omxplaltdtkopjjlxvqsuauy\)/app/home/issue.asp?referrer=parent&backto=journal,2,30;linkingpublicationresults,1:103348,1](http://springerlink.metapress.com/(4omxplaltdtkopjjlxvqsuauy)/app/home/issue.asp?referrer=parent&backto=journal,2,30;linkingpublicationresults,1:103348,1)

Nanotoxikologie Research at the University of Florida

[www.nanotoxicology.ufl.edu/](http://www.nanotoxicology.ufl.edu/)

**LINKS, DIE EINEN NEWSLETTER ANBIETEN:**

<http://www.foresight.org>

<http://nanotechweb.org>

<http://www.nanotechnology.com>

<http://www.nano.org.uk>

<http://www.azonano.com>

<http://nano.cancer.gov>

[www.nanoforum.org/](http://www.nanoforum.org/)



